

## **CIDADE E ÁGUA: RELAÇÕES ENTRE TIPOLOGIAS DE OCUPAÇÃO URBANA E RECARGA DE AQUÍFEROS**

**ANA PAULA SERAPHIM**

Arquiteta

**MARIA DO CARMO LIMA DE BEZERRA**

Doctora Arquitecta

*Este documento contém parte da dissertação "Relações entre as áreas de recarga dos aquíferos e áreas destinadas à urbanização: estudo dos padrões de ocupação do solo da unidade hidrográfica do Paranoá - DF" de autoria de Ana Paula Albuquerque Campos Costalonga Seraphim e orientada pela Professora Dra. Maria do Carmo de Lima Bezerra com defesa em 29/06/2018 no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília*

Septiembre / Octubre 2019

<b>Directores/as:</b>	José Fariña Tojo – Ester Higuera García
<b>Editora:</b>	María Cristina García González
<b>Consejo de Redacción:</b>	
<b>Directora:</b>	María Emilia Román López
<b>Vocales:</b>	Isabel Aguirre de Urcola (Escola Galega Paisaxe, A Coruña), Pilar Chías Navarro (Univ. Alcalá de Henares, Madrid), Alberto Cuchí Burgos (Univ. Politécnica de Cataluña), Agustín Hernández Aja (Univ. Politécnica de Madrid), Francisco Lamíquiz Daudén (Univ. Politécnica de Madrid), María Asunción Leboeiro Amaro (Univ. Politécnica de Madrid), Rafael Mata Olmo (Univ. Autónoma de Madrid), Luis Andrés Orive (Centro de Estudios Ambientales, Vitoria-Gasteiz), Javier Ruiz Sánchez (Univ. Politécnica de Madrid), Carlos Manuel Valdés (Univ. Carlos III de Madrid), Fernando Gaja (Univ. Politécnica Valencia), Alicia de Castillo Mena (Univ. Complutense de Madrid), Joaquín Sabate Bel (Univ. Politécnica de Cataluña).
<b>Consejo Asesor:</b>	José Manuel Atienza Riera (Vicerrector de Estrategia Académica e Internacionalización, Univ. Politécnica de Madrid), Manuel Blanco Lage (Director de la Escuela Superior de Arquitectura, Univ. Politécnica de Madrid), José Miguel Fernández Güell (Director del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio, Univ. Politécnica de Madrid), Antonio Elizalde Hevia, Julio García Lanza, Josefina Gómez de Mendoza, José Manuel Naredo, Julián Salas Serrano, Fernando de Terán Troyano, María Ángeles Querol.
<b>Comité Científico:</b>	Antonio Acierno (Univ. Federico II di Napoli, Nápoles, ITALIA), Miguel Ángel Barreto (Univ. Nacional del Nordeste, Resistencia, ARGENTINA), José Luis Carrillo (Univ. Veracruzana, Xalapa, MÉXICO), Luz Alicia Cárdenas Jirón (Univ. de Chile, Santiago de Chile, CHILE), Marta Casares (Univ. Nacional de Tucumán, Tucumán, ARGENTINA), María Castrillo (Univ. de Valladolid, ESPAÑA), Dania Chavarría (Univ. de Costa Rica, COSTA RICA), Mercedes Ferrer (Univ. del Zulia, Maracaibo, VENEZUELA), Fernando Gaja (Univ. Politécnica de Valencia, ESPAÑA), Alberto Gurovich (Univ. de Chile, Santiago de Chile, CHILE), Josué Llanque (Univ. Nacional de S. Agustín, Arequipa, PERÚ), Angelo Mazza (Univ. degli Studi di Napoli, Nápoles, ITALIA), Luis Moya (Univ. Politécnica de Madrid, ESPAÑA), Joan Olmos (Univ. Politécnica de Valencia, ESPAÑA), Ignazia Pinzello (Univ. degli Studi di Palermo, Palermo, ITALIA), Julio Pozueta (Univ. Politécnica de Madrid, ESPAÑA), Alfonso Rivas (Univ. A. Metropolitana Azcapotzalco, Ciudad de México, MÉXICO), Silvia Rossi (Univ. Nacional de Tucumán, ARGENTINA), Adalberto da Silva (Univ. Estadual Paulista, Sao Paulo, BRASIL), Carlos Soberanis (Univ. Francisco Marroquín, Guatemala, GUATEMALA), Carlos A. Torres (Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, COLOMBIA), Graziella Trovato (Univ. Politécnica de Madrid, ESPAÑA), Carlos F. Valverde (Univ. Iberoamericana de Puebla, MÉXICO), Fernando N. Winfield (Univ. Veracruzana, Xalapa, MÉXICO), Ana Zazo (Univ. del Bio-Bio, Concepción, CHILE).

**Realización y maquetación:**

Maquetación: Raquel Clemente Pereiro. [ciur.urbanismo.arquitectura@upm.es](mailto:ciur.urbanismo.arquitectura@upm.es)

**© COPYRIGHT 2019**

ANA PAULA SERAPHIM

MARIA DO CARMO LIMA DE BEZERRA

Fecha de recepción: 11/08/2019

Fecha de aceptación: 19/10/2019

I.S.S.N. (edición impresa): 1886-6654

I.S.S.N. (edición digital): 2174-5099

DOI: 10.20868/ciur.2019.126

Depósito Legal: M-41356-2011

Año XI, Núm. 126, septiembre - octubre 2019, 74 págs.

Edita: Instituto Juan de Herrera

Imprime: FASTER, San Francisco de Sales 1, Madrid

## **Cidade e Água: relações entre tipologias de ocupação urbana e recarga de aquíferos**

### ***Ciudad y Agua: relaciones entre tipologías de ocupación urbana y recarga de acuíferos***

### ***City and Water: relations between urban occupation typologies and aquifer recharge***

DOI: 10.20868/ciur.2019.126.4369

#### **PALAVRAS CHAVES:**

*Ecologia urbana / Recarga de aquíferos/ Tipologia de ocupação urbana / Urbanismo sensível à água*

#### **DESCRIPTORES:**

*Ecología urbana / Recarga de acuíferos / Tipología de ocupación urbana / Urbanismo sensible al agua*

#### **KEY WORDS:**

*Aquifer recharge / Urban ecology / Urban occupation typology / Water-sensitive urban design*

#### **RESUMO:**

A alteração do regime hidrológico é inerente ao processo de urbanização. Destaca-se nessa relação, como desafio imposto ao planejamento urbano, as áreas de recarga dos aquíferos devido sua sobreposição com as áreas urbanizadas e o papel estratégico desses nos cenários de escassez hídrica. Entretanto, não é corrente o uso de técnicas e normas urbanísticas voltadas para a menor perturbação ou manutenção da infiltração natural nas cidades. No sentido de contribuir para essa discussão, a pesquisa visa ordenar diferentes aspectos relacionados à forma urbana e à infiltração contribuindo para um referencial metodológico, que torne mais operacional o discurso das cidades sensíveis à água, reduzindo as incertezas e as complexidades de sua implementação. Como base teórica, revisitaram-se os conceitos e estabeleceram-se as conexões entre as características do meio físico, que são determinantes para definir áreas a serem urbanizadas, e a identificação de áreas de recarga de aquíferos, seguido de uma revisão das associações entre: (i) os fatores que levam à perda de infiltração natural; (ii) as diretrizes de urbanização sensível a água; e (iii) os elementos configuracionais da forma urbana. Com esses resultados, um quadro referencial é estruturado para auxiliar a ligação entre a forma urbana e o impacto hidrológico, e para analisar as tipologias de ocupação urbana e seus impactos sobre infiltração natural em uma unidade hidrográfica no Distrito Federal de Brasília, Brasil.

**RESUMEN:**

*Cambiar el régimen hidrológico es inherente al proceso de urbanización. En esta relación, como un desafío impuesto a la planificación urbana, las áreas de recarga de acuíferos se destacan por su superposición con las áreas urbanizadas y su papel estratégico en escenarios de escasez de agua. Sin embargo, el uso de técnicas y normas de planificación urbana destinadas a menos perturbaciones o mantenimiento de la infiltración natural en las ciudades no es común. Para contribuir a esta discusión, la investigación tiene como objetivo organizar diferentes aspectos relacionados con la forma urbana y la infiltración, contribuyendo a un marco metodológico, que hace que el discurso de las ciudades sensibles al agua sea más operativo, reduciendo las incertidumbres y complejidades de su implementación. Como base teórica, se revisaron los conceptos y se establecieron conexiones entre las características del entorno físico, que son decisivas para definir áreas a urbanizar, y la identificación de áreas de recarga de acuíferos, seguido de una revisión de las asociaciones entre: (i) los factores que conducen a la pérdida de infiltración natural; (ii) las pautas de urbanización sensibles al agua; y (iii) los elementos configuracionales de la forma urbana. Con estos resultados, se estructura un marco de referencia para ayudar a la conexión entre la forma urbana y el impacto hidrológico, y para analizar los tipos de ocupación urbana y sus impactos en la infiltración natural en una unidad hidrográfica en el Distrito Federal de Brasília, Brasil.*

**ABSTRACT:**

*The alteration of the hydrological regime is inherent of the urbanization process. In this relationship, as a challenge imposed on urban planning, the areas of aquifer recharge stand out due to their overlap with urbanized areas and their strategic role in water scarcity scenarios. However, the use of urban planning techniques and norms aimed at less disturbance or maintenance of natural infiltration in cities is not common. In order to contribute to this discussion, the research aims to organize different aspects related to urban form and infiltration, contributing to a methodological framework, which makes the discourse of cities sensitive to water more operational, reducing the uncertainties and complexities of its implementation. As a theoretical basis, the concepts were revisited and connections were established between the characteristics of the physical environment, which are decisive for defining areas to be urbanized, and the identification of aquifer recharge areas, followed by a review of the associations between: (i) the factors that lead to the loss of natural infiltration; (ii) the water-sensitive urbanization guidelines; and (iii) the configurational elements of the urban form. With these results, a reference framework is structured to help the connection between the urban form and the hydrological impact, and to analyze the types of urban occupation and their impacts on natural infiltration in a hydrographic unit in the Federal District of Brasília, Brazil.*



*\* Ana Paula Albuquerque Campos Costalonga Seraphim é arquiteta e urbanista, pela Universidade Federal de Brasília e Mestrado Acadêmico em Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente construído na Universidade Federal de Brasília.*

*anapaula313@gmail.com*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6970-2949> (Ana Paula Albuquerque Campos Costalonga Seraphim)*

*\* Maria do Carmo é arquiteta e urbanista, doutora em Estruturas Ambientais Urbanas pela Universidade de São Paulo, com pos doutorado na Architecture Art Planning Cornell University e la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.*

*macarmo@unb.br*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7736-5265> (Maria do Carmo de Lima bezerra)*

**CONSULTA DE NÚMEROS ANTERIORES / ACCESS TO PREVIOUS WORKS:**

La presente publicación se puede consultar en color en formato pdf en la dirección:

*This document is available in pdf format and full colour in the following web page:*

<http://www2.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/institucional/publicaciones/ciur/>

## ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	RELAÇÕES ENTRE O PROCESSO DE RECARGA DOS AQUÍFEROS E DE URBANIZAÇÃO .....	9
2.1	Ciclo hidrológico urbano e serviços ecossistêmicos .....	9
2.2	Condicionantes físicos do processo de recarga dos aquíferos .....	12
2.3	Condicionantes físicos do processo de urbanização .....	15
2.4	Similaridades entre áreas propícias à recarga e à urbanização.....	16
3	SISTEMATIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DA FORMA URBANA COM IMPLICAÇÕES SOBRE A PERDA DE INFILTRAÇÃO NATURAL .....	17
3.1	Fatores de manipulação do solo urbano com implicações sobre a infiltração natural .....	17
3.2	Relações dos fatores com consequências sobre a infiltração natural e diretrizes de urbanização sensível à água .....	21
3.3	Quadro metodológico de análise da forma urbana quanto à interferência na infiltração natural.....	28
4	RELAÇÕES ENTRE AS ÁREAS PROPÍCIAS À RECARGA DOS AQUÍFEROS E À URBANIZAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL .....	31
4.1	Características do meio físico do Distrito Federal .....	32
4.2	Áreas propícias à recarga de aquíferos e à urbanização .....	35
4.3	Alterações na cobertura do solo sobre áreas de recarga de aquíferos.....	39
4.4	Avaliação do impacto de diferentes tipologias de ocupação urbana frente a infiltração natural na UH do lago Paranoá .....	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
6	BIBLIOGRAFIA .....	64

## **1 INTRODUÇÃO**

O processo de urbanização resulta em alterações no regime hidrológico, levando à redução na quantidade e na qualidade da água em ambientes urbanos, e à perda ou redução de importantes serviços ecossistêmicos, como: água para substrato à vida; fornecimento de insumo para o sistema produtivo; assimilação de resíduos; utilidades estéticas e de lazer; e regulação climática. Nesse contexto, a preservação dos recursos hídricos nos espaços urbanos, em quantidade e qualidade, é imperativa. Entretanto, as práticas necessárias para lidar com o tema ainda não estão consolidadas e não são amplamente implementadas.

Inicialmente, a gestão da água no meio urbano compreendia, principalmente, o saneamento ambiental convencional ou higienista, que utiliza infraestruturas monofuncionais e cinzas para o abastecimento, esgotamento e drenagem urbana (Brown; Keath; Wong, 2009). Essa fase possui uma lógica de planejamento separada da base ecológica do território, na qual: os corpos d'água são canalizados, os canais de drenagem natural são alterados e as áreas de alta sensibilidade hidrológica, como áreas de recarga de nascentes e margens de corpos d'água, são ocupadas e desmatadas. Neste seguimento, a modelagem hidrológica urbana tem sido feita, principalmente, pela engenharia civil com foco no dimensionamento de redes de drenagem considerando a porcentagem de áreas impermeáveis como a principal característica da forma urbana para estimar o escoamento superficial.

Entretanto, desde a década de 1980, pesquisadores procuram incorporar, de forma mais sistemática, os conceitos da ecologia na gestão das águas urbanas. Eles procuraram expandir e aprofundar as estratégias de manejo de bacias hidrográficas urbanizadas por meio da adaptação das estruturas urbanas, considerando as relações entre meio físico, ecológico e sociocultural, esbarrando no desafio da transdisciplinaridade.

Segundo Wu (2014), a ecologia urbana estuda padrões espaço-temporais e impactos ambientais da urbanização, com ênfase na biodiversidade, nos ciclos biogeoquímicos e nos serviços ecossistêmicos. Ela considera que os aspectos socioeconômicos e as práticas de planejamento urbano influenciam, profundamente, os resultados destes processos. Esse campo analisa as grandes áreas que apresentam centenas de ecossistemas concomitantes, utilizando conceitos ecológicos para compreender como esses ecossistemas são estruturados e funcionam oferecendo serviços, e como eles se relacionam entre si e com as estruturas socioeconômicas formando um mosaico de padrões dinâmicos (McPhearson et al., 2016; Wu, 2014).

Para o planejamento urbano sensível à água, a ecologia contribui principalmente com técnicas de leitura de aptidão e de risco territoriais, com os estudos das mudanças no ciclo hidrológico e seus efeitos sobre os serviços ecossistêmicos, que provêm bens para o funcionamento das cidades e para o desenvolvimento de soluções baseadas na natureza. Algumas iniciativas mais difundidas que incorporaram esses conceitos, procurando reduzir os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e usam infraestruturas multifuncionais, que reforçam o comportamento da natureza

são: a Low Impact Development (LID), Water Sustainable Urban Design (WSUD), Sustainable Drainage Systems (SuDS) e Sponge Cities.

Apesar dos avanços dessas abordagens, suas diretrizes ainda são implementadas em muitas localidades de forma pontual. No Brasil, segundo Souza, Cruz e Tucci (2012), essas novas abordagens começaram a ser recomendadas apenas partir do final dos anos 2000, com o desenvolvimento do Programa de Drenagem Sustentável por parte do Ministério das Cidades em 2006, mas, sua adoção, se existente, ocorre apenas em pequenos casos de estudo, sendo que na prática, a urbanização pouco evoluiu em relação a uma ocupação do território de base ecológica.

A promoção de uma urbanização sensível à água ainda representa um grande desafio devido à complexidade e heterogeneidade dos padrões de ocupação urbanos e suas relações com os impactos sobre o sistema hidrológico, o que traz incertezas quanto à aplicabilidade e alcances das medidas preconizadas. Nesse contexto, a pesquisa destaca a problemática das áreas de recarga, dentre as áreas hidrologicamente sensíveis afetadas pela urbanização como um grande desafio imposto ao planejamento das cidades, devido sua notável sobreposição com áreas ocupadas por assentamentos humanos tornando imprescindível a adoção de estratégias de baixo impacto à recarga nessas áreas. Para promover uma gestão mais sustentável da recarga no meio urbano, respeitando os limites do ciclo hidrológico, é necessário que ocorram avanços na interface entre o planejamento urbano, ecologia e hidrogeologia.

Poucos são os estudos e esforços práticos que articulam as interdependências entre a forma urbana e a consideração sobre a qualidade e a quantidade de água. Assim, a questão de como pensar o uso e ocupação do solo urbano como parte da solução de gestão da recarga de aquíferos é o destaque do problema a ser estudado. Para tanto, deve-se delinear as interfaces entre ocupação do solo urbano e garantia da recarga dos aquíferos, tanto em quantidade como em qualidade de água. Esse é um dilema de difícil solução em função da grande demanda pelo mercado de terras e adequabilidade das mesmas à sensibilidade e manutenção do equilíbrio hídrico.

Os principais desafios a serem abordados nesta problemática são: (i) a definição de áreas passíveis para urbanização em bacias hidrográficas; e (ii) a revisão dos padrões de ocupação do solo para reduzir a infiltração natural e potencializar a implantação de infraestruturas que reforcem o comportamento natural da água. Parte-se para isso das premissas de que existem semelhanças físicas entre as áreas propícias à recarga e as áreas propícias à urbanização; e de que o maior entendimento do potencial de infiltração natural de uma determinada tipologia urbana é condição para a predição de padrões de ocupação que mitiguem a perda de recarga.

Assim, a pesquisa visa ordenar diferentes aspectos relacionados a forma urbana e a infiltração, contribuindo para um referencial metodológico que torne mais operacional a adoção dos conceitos acima referidos sobre as intervenções urbanas. Avança assim, no sentido de operacionalizar o discurso que reduz as incertezas e complexidades de sua implementação.

O trabalho se divide em três partes. Na primeira parte procura ressaltar as bases ecológicas do planejamento urbano sensível à recarga de aquíferos, por meio de uma revisão bibliográfica que apresenta as principais relações entre urbanização, impactos sobre o ciclo hidrológico e seus serviços ecossistêmicos.

Na segunda parte é apresentado o desenvolvimento do quadro metodológico para operacionalizar a aplicação do referencial teórico, evidenciando as associações entre (i) fatores que levam à perda de infiltração natural nas cidades; (ii) diretrizes de urbanização sensível a água; e (iii) elementos configuracionais da forma urbana que podem ser utilizados na gestão das cidades.

Por fim, na terceira parte, aplica-se a metodologia pesquisada à uma área de estudo, para verificar sua factibilidade em um caso real. O estudo de caso escolhido foi o Distrito Federal (DF) devido: à problemática recente que viveu em relação à escassez de água<sup>1</sup>; ao seu alto grau de urbanização, que coloca a relação entre forma urbana e impacto na recarga em evidência; e à substancial base de informações e debates sobre a dinâmica socioambiental incluída no Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE).

## **2 RELAÇÕES ENTRE O PROCESSO DE RECARGA DOS AQUÍFEROS E DE URBANIZAÇÃO**

### **2.1 Ciclo hidrológico urbano e serviços ecossistêmicos**

O estudo do ciclo hidrológico fornece base conceitual unificadora para o entendimento das relações entre o sistema hídrico e a ocupação do solo. Este é um modelo conceitual que descreve o armazenamento e a circulação fechada da água entre a biosfera, atmosfera, litosfera e hidrosfera, impulsionada pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (Marsalek et al., 2013). Os compartimentos de armazenamento da água são a atmosfera, os oceanos, os lagos, os rios, o solo, os aquíferos, as geleiras e os campos de neve.

Destes, os aquíferos são os mais bem distribuídos reservatórios de água doce no mundo, armazenando cerca de 30% desse recurso. Enquanto 1% se encontra em corpos hídricos superficiais, que compõem a rede hídrica, e 69% em geleiras (WWAP, 2015). Os aquíferos abastecem diariamente 2,5 bilhões de pessoas em áreas urbanas no mundo (WWAP, 2015), sendo que no Brasil, as reservas renováveis de águas subterrâneas são exploradas para o abastecimento em 53% dos municípios (ANA, 2016).

A circulação de água entre os compartimentos do ciclo hidrológico é causada por processos de evapotranspiração, condensação, precipitação, infiltração, percolação, derretimento de neve e escoamento.

A etapa da precipitação possui particular importância, uma vez que se faz disponível em períodos regulares e constitui o total de água potável renovável

---

<sup>1</sup>Crise hídrica que afetou os reservatórios de abastecimento do Distrito Federal entre meados de 2016 e em 2018, levando a construção de novas captações e o racionamento de água entre os moradores do Distrito Federal.

disponível para utilização (Postel; Carpenter, 1997). Normalmente, os cálculos de balanço hídrico são feitos a partir dessa etapa do ciclo, da qual a água pode-se movimentar para: (i) infiltrar pela superfície do solo, movendo-se para baixo, podendo-se acumular nos aquíferos; (ii) escoar lentamente pelo solo para ressurgir na superfície na forma de nascentes, pântanos, rios e lagos; (iii) ser absorvida pelas plantas, que posteriormente liberam a água na atmosfera por evapotranspiração; (iv) escoar pela superfície, quando a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo - em direção aos rios, lagos e mares; (v) evaporar e retornar à atmosfera; ou (vi) congelar no topo de montanhas e geleiras (Machado; Pacheco, 2010). Em todas essas condições é possível verificar que a estrutura urbana possui interferência, que será maior ou menor, a depender da forma que dispõe a ocupação do solo.

No ambiente natural, a proporção e a velocidade com que a água circula por estas diferentes fases variam de acordo com fatores como a cobertura solo, altitude, topografia, temperatura, tipo do solo e geologia. Estudos baseados em dados estatísticos coletados de diversos cenários estimam que, de forma geral, em áreas naturais da água precipitada, cerca de 40% sofre evapotranspiração, 10% escoam superficialmente e 50% infiltra no solo (Hough, 1985). A cobertura vegetal destaca-se como importante mantenedora dessas proporções, uma vez que: aumenta a permeabilidade do solo, por meio de sua estrutura de raízes; consome parte da água precipitada, necessária para o seu metabolismo; e, aumenta a capacidade de retenção da água, pela rugosidade que gera no solo (Machado; Pacheco, 2010).

A urbanização afeta, principalmente, a taxa máxima possível de entrada da água no solo e as primeiras camadas da zona vadosa, reduzindo a infiltração natural e aumentando o escoamento nas áreas urbanizadas. As variações do balanço hídrico apresentados pelas cidades mostram que a proporção de água que infiltra no solo após a precipitação se reduz, chegando em média até a 15%, e a água que escoam superficialmente aumenta, chegando em média entre 45 e 55%, dependendo do padrão de ocupação do solo urbano (Mota, 1981; Hough, 1985).

As alterações no regime hídrico devem-se principalmente ao aumento populacional e aos padrões urbanísticos de ocupação. Esses fenômenos provocam o aumento do consumo de água e a geração de resíduos: alterando a paisagem, provocando o aumento da impermeabilização, da geração da cobertura vegetal, da topografia e dos canais naturais de drenagem.

Todos os processos de mudança do regime hidrológico nas cidades geram mais alagamentos, inundações, redução da infiltração e da descarga subsuperficial de água nos corpos hídricos superficiais e podem causar subsidência do solo (Marsalek et al., 2013). Essas interações são esquematizadas na Figura 2.1.

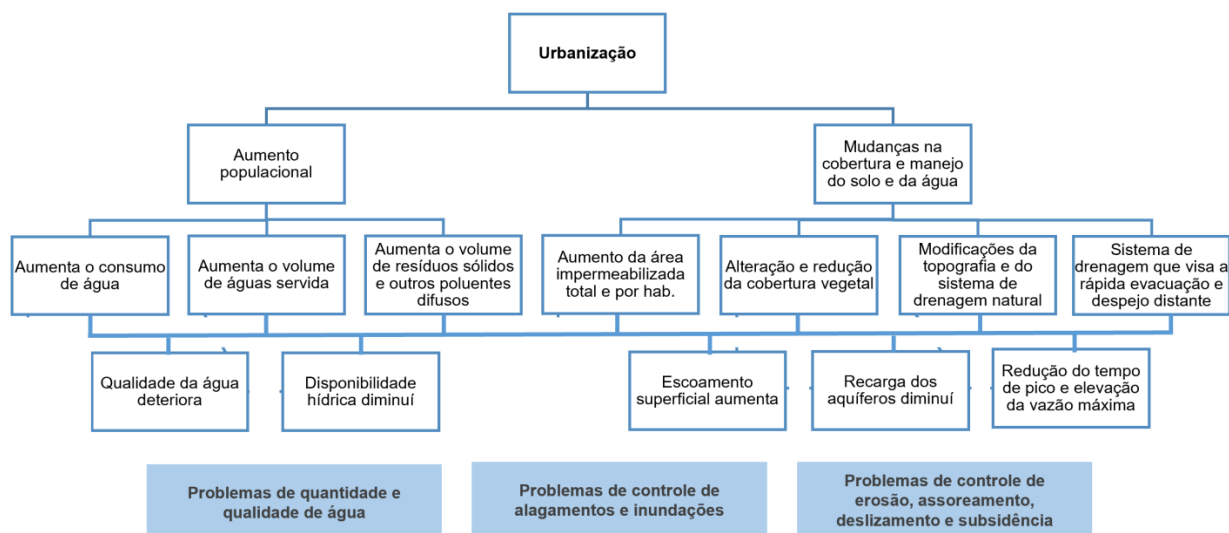


Figura 2.1. Impactos da urbanização no ciclo hidrológico.

Fonte: Própria autoria.

Apesar da redução natural da infiltração existem também fontes de recarga artificial nas áreas urbanas, intencionais e não-intencionais. Em grandes cidades de clima árido a recarga artificial pode até compensar o déficit da infiltração natural de água da chuva, aumentando a altura do lençol freático (Foster; Morris; Lawrence, 1994).

Foster, Morris e Lawrence (1994) estimaram que, em casos extremos de perda técnica, vazamentos não-intencionais do sistema de esgotamento e abastecimento de água podem ser equivalentes 500 mm de chuva ao ano em áreas altamente povoadas. Por exemplo, no Brasil segundo o Sistema Nacional de Informações de Saneamento, no ano de 2017, o índice de perdas na distribuição de água para abastecimento foi de 38,3% (SNIS, 2017). Esse, entretanto, é um processo de recarga indesejável, pois decorre de uma ineficiência de gestão dos serviços urbanos e, na maioria dos casos, suas fontes acabam por introduzir contaminantes na água do subsolo.

Outras fontes comuns contaminadoras dos aquíferos em áreas urbanas podem ser: (i) aterros; (ii) tanques e lagoas usados para tratar, evaporar ou armazenar resíduos líquidos; (iii) tanques subterrâneos usados para armazenarem líquidos, como gasolina; (iv) indústrias; e (v) cemitério de humanos e animais, quando os caixões usados não são estanques (Marsalek et al., 2013). Essas atividades devem ser evitadas em áreas de alto potencial de recarga de aquíferos para prevenir sua contaminação.

A recarga artificial pode também ser intencional a partir de técnicas de drenagem sustentável, que visam ao aumento das oportunidades para retenção e infiltração da água da chuva. Algumas técnicas que auxiliam na infiltração da água são (Hinman, 2012): (i) sistemas de infiltração, como células, trincheiras e cobertores de infiltração; (ii) bacias de biorretenção, ou jardins de chuva, e (ii) compostagem dos

solos, uma vez que a matéria orgânica é capaz de física e quimicamente melhorar a estrutura e porosidade do solo.

A busca de um balanço hídrico mais próximo do natural nas áreas urbanas está associada também, com o entendimento da prestação de serviços ecossistêmicos. Os serviços ecossistêmicos são os benefícios às pessoas e ao funcionamento da cidade que advém da manutenção da dinâmica ecossistêmica. (Mea, 2003; Teeb, 2011). Essa abordagem procura reconhecer os benefícios proporcionados pelos ecossistemas, em termos econômicos e socioculturais, para auxiliar nas tomadas de decisão de uso e ocupação do território, seja urbano ou rural.

Os serviços ecossistêmicos têm sido classificados em quatro categorias: (1) serviços de provimento; (2) serviços de regulação; (3) serviços de suporte; e, (4) serviços culturais (Mea, 2003).

Os serviços de provisão incluem materiais que são providos pelos ecossistemas para nosso consumo material e econômico, como comida, água e plantas medicinais. Os serviços de regulação são aqueles que mantêm funções e ciclos biogeoquímicos relacionados ao equilíbrio ambiental, como a qualidade do ar, qualidade do solo e controle de doenças. Os serviços de suporte são os que sustentam todos os outros por proverem as dinâmicas de manutenção dos fatores bióticos e abióticos que constituem o ecossistema. E, finalmente, os serviços culturais incluem os benefícios socioculturais associados com o contato com a natureza, como recreação e estética.

Todos os serviços ecossistêmicos podem ser prestados por áreas naturais inseridas em áreas urbanas como: ruas arborizadas, parques, jardins, hortas urbanas, quintais, florestas urbanas, áreas pantanosas, rios e lagos (Bolund; Hunhammar, 1999). Apesar de sua fragmentação e pequena extensão, eles ainda possuem um papel importante na manutenção do bem-estar ambiental da população urbana podendo gerar serviços, tanto de abrangência local, como de abrangência regional, tais como: a mitigação das enchentes e regulação do microclima, os corredores de fluxo gênico e de regulação do fluxo d'água em corpos hídricos superficiais (McPhearson; Hamstead; Kremer, 2014).

De maneira geral, a conservação das áreas naturais urbanas com foco na manutenção e ampliação de suas funções de regulação do ciclo hidrológico, auxiliam na prestação dos seguintes serviços ecossistêmicos: (i) os de provimento de água para usos domésticos, industrial, agrícola e de geração de energia; (ii) os de regulação no controle de alagamentos, de inundações, do microclima, da infiltração, fertilização do solo e da diluição de poluentes; (iii) os culturais na promoção de lazer, transporte, recreação e esportes; e, (iv) os de suporte garantem a qualidade das águas, do ar, do solo e da biodiversidade para que os demais sejam possíveis. (Postel; Carpenter, 1997).

## **2.2 Condicionantes físicos do processo de recarga dos aquíferos**

A separação dos recursos hídricos em águas superficiais e subterrâneas é artificial, uma vez que elas fazem, na verdade, parte de um sistema conectado - o ciclo hidrológico. Qualquer mudança em um desses componentes afeta eventualmente, o



outro. Essa separação é importante para o estudo e gestão do comportamento da água. As formações subterrâneas podem ser divididas verticalmente em zonas de acordo com a proporção de água em seus poros. Essencialmente, temos uma zona de saturação, onde os poros estão preenchidos principalmente, com água e uma zona de aeração, onde estão preenchidos principalmente com gases. A zona saturada é normalmente, delimitada por uma superfície imaginária denominada lençol ou membrana freática, abaixo da qual se encontram os aquíferos.

A parte mais superficial da zona de aeração é responsável por manter a água da qual depende a vegetação. A umidade dessa zona, em um momento de precipitação, influencia a quantidade de água que se move para as camadas inferiores. Esse fenômeno está relacionado com a capacidade de campo, que corresponde ao volume de água adsorvido e fica parado por forças capilares, não sofrendo movimento para níveis inferiores, apenas para cima; por evaporação ou transpiração vegetativa (Teixeira *et al.*, 2000; Bear, 2007). Após a camada superficial, a água move-se para baixo por gravidade em direção aos aquíferos. Acima do lençol freático ocorre a subzona capilar considerada praticamente saturada e onde existe também, um fluxo horizontal, configurando o escoamento subsuperficial que pode alimentar rios ou nascentes (Bear, 2007).

Os aquíferos dividem-se em confinados e não confinados, livres ou freáticos. A recarga dos aquíferos freáticos dá-se de forma direta pelas camadas superiores do solo principalmente, por meio da precipitação<sup>2</sup>. Enquanto a recarga dos aquíferos confinados dá-se a partir de aquíferos freáticos adjacentes, por meio de camada semipermeável, permeável, ou por áreas específicas na superfície, onde a camada confinante termina.

Em condições naturais, o total da água precipitada que infiltra no solo em direção aos aquíferos, livres ou confinados, depende principalmente dos seguintes fatores: topografia; altura, intensidade e duração da chuva; capacidade de campo, umidade antecedente e propriedades hidráulicas do solo (Bear, 2007; Mota, 1981; Simmers, 1987). Esses fatores supracitados podem ser agrupados em características relacionadas com: (i) o clima; (ii) a geomorfologia; e (iii) a pedologia.

Do clima importam, principalmente, a altura da precipitação, a intensidade e a duração da precipitação. A altura é importante, uma vez que, para a água chegar a infiltrar, seu volume precisa ser maior do que as perdas que ocorrem por interceptação, evapotranspiração, retenção em depressões e infiltração até a saturação da camada superficial do solo. Chuvas menos intensas, regularmente distribuídas ao longo do tempo, promovem uma infiltração maior, pois a velocidade de infiltração pode acompanhar a altura de precipitação gerada, enquanto chuvas torrenciais favorecem o escoamento superficial direto. A duração das chuvas também é relevante, pois a taxa de infiltração da água no solo decresce quando o solo se encontra saturado.

---

<sup>2</sup> Em alguns casos, a água da recarga natural também pode ser proveniente de corpos hídricos superficiais, e quantidades muito pequenas podem ser de origem magmática.

A geomorfologia influencia a recarga por meio da: (i) altitude relativa; e, (ii) declividade. O padrão do fluxo de movimento da água entre as áreas de recarga e descarga ocorre a partir da força da gravidade e pressão, normalmente de áreas mais elevadas para áreas menos elevadas, formando bacias hidrográficas subterrâneas que acompanham o relevo do terreno (Simmers, 1987). Assim, os altos regionais são responsáveis por recargas dos aquíferos mais profundos, enquanto, os baixos regionais por recargas locais, que são logo descarregadas nos corpos hídricos superficiais (Silveira; Usunoff, 2009). Somados a isso, os declives acentuados, acima de 20%, favorecem o escoamento superficial direto, diminuindo a infiltração (Kaliraj; Chandrasekar; Magesh, 2014).

Das características do solo, são importantes principalmente: umidade antecedente; condutividade hidráulica; e, profundidade.

A umidade do solo anterior à precipitação influencia a infiltração da água que chega aos aquíferos devido à capacidade de campo do solo. A primeira camada de água é adsorvida quando o solo está pouco úmido, contribuindo apenas para completar a capacidade de campo, não sofrendo movimentos para níveis inferiores (Bear, 2007). A condutividade hidráulica do solo é o fator mais decisivo em relação às taxas de infiltração (Santos; Koide, 2016; Lousada & Campos, 2005). Os solos mais porosos e permeáveis, em geral com maior teor de areia, possuem altas taxas de infiltração. Enquanto solos mais finos e de menor porosidade, em geral com maior teor de argila, possuem menores taxas de infiltração. A espessura do solo também importa, uma vez que tem a capacidade de reter temporariamente uma maior quantidade de água precipitada que posteriormente é liberada para o aquífero subjacente.

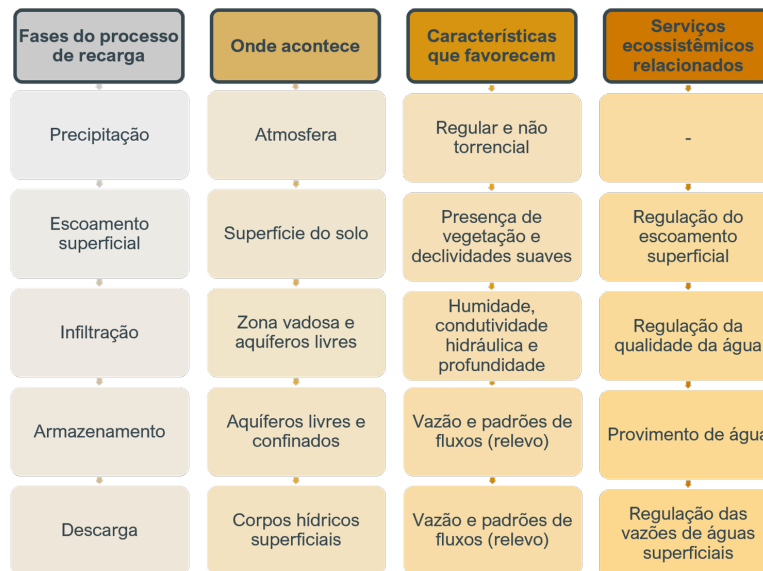


Figura 2.2: Relação entre o processo de recarga, distribuição da água, características do meio físico e biótico e Serviços Ecossistêmicos.

Fonte: Própria autoria.

A manutenção sustentável das áreas de recarga dos aquíferos está diretamente relacionada à manutenção da prestação de três serviços ecossistêmicos: (i) de provimento da água, por meio da exploração dos próprios aquíferos; (ii) de regulação das vazões de água superficial, principalmente nos períodos de seca, uma vez que água escoada subsuperficialmente muito lentamente até ressurgir nos corpos hídricos superficiais; e (iii) de regulação da qualidade da água, devido ao fato de que o maciço natural permeável apresenta capacidade filtrante e de depuração biogeoquímica. A Figura 2.2 resume as associações entre as fases do processo de recarga, características do meio físico que favorecem o processo e os serviços ecossistêmicos relacionados à sua manutenção.

### **2.3 Condicionantes físicos do processo de urbanização**

A escolha das áreas onde ocorre o processo de urbanização envolve uma multiplicidade de fatores socioeconômicos, culturais e políticos, de proteção e ambientais, que se sobrepõem e variam no tempo e espaço (Carter, 1977). Em relação às condicionantes ambientais da urbanização, autores da área da ecologia urbana apontam que os principais fatores do meio físico a serem contemplados para a escolha de áreas a serem urbanizadas são: (i) o clima; (ii) a geomorfologia; e (iii) os solos (Hough, 1984; Mcharg, 1969; Mota, 1981).

Os fatores climáticos que estão mais relacionados ao conforto térmico e, conseqüentemente, à escolha de locais a serem urbanizados são: (i) a radiação solar; (ii) a temperatura; (iii) a velocidade e direção dos ventos; (iv) a precipitação; (v) a umidade; e (vi) as camadas atmosféricas (Barbirato; Torres; Souza, 2011). Esses fatores dependem principalmente da altitude, longitude e continentalidade dos locais (Mota, 1981). Ainda no clima, a presença de chuvas é um fator importante para a escolha dos locais a serem urbanizados, uma vez que está relacionada à disponibilidade hídrica local, recurso indispensável à vida e ao desenvolvimento.

Da geomorfologia, a declividade é o fator que mais influencia a urbanização (Mota, 1981). Terrenos com grandes declividades podem ser inapropriados à ocupação devido a problemas de instabilidade e dificuldade de mecanização. De forma a precaver situações de risco e impactos dessa natureza, o artigo 3º, da Lei Federal 6.766/79, estabelece um limite de declividade de 30% (15º) para o loteamento do solo urbano. Mas, mesmo para declividades entre 20 a 30%, já se recomenda o uso de técnicas adequadas à conservação dos solos. Em adição, os baixos regionais geralmente estão associados à alta densidade de drenagens naturais e estão mais sujeitas a inundações e inversões de temperatura das camadas atmosféricas, que podem contribuir para o agravamento da poluição do ar.

Os solos também influenciam na escolha da área e no tipo de ocupação. Por exemplo, a instabilidade de ocupação de encostas depende da coesão do solo; quanto mais coeso o solo menos propício a deslizamentos. Também, as propriedades do solo são fundamentais para determinar condições para a sustentação de obras civis. São importantes: a permeabilidade, a profundidade, a resistência ao cisalhamento e resistência à carga. A resistência a cargas é determinada principalmente pelas características de coesão e compactidade do solo. Em linhas gerais, areias compactas

e argilas rijas e profundas representam solos melhores para fundações, com maior capacidade de suporte de carga e menos susceptíveis a deformações (Almeida, 2004). Entretanto solos considerados com boas características para fundações, devido principalmente a sua compacidade, acarretam limitações ao desenvolvimento da arborização urbana, infiltração da água e capacidade de receber efluentes líquidos domésticos. Em adição, solos encharcados de regiões pantanosas ou próximas a drenagens naturais, com lençóis freáticos muito altos, também são inadequados devido à susceptibilidade à deformação, risco de inundações, contaminação e dificuldade de receber efluentes domésticos.

## 2.4 Similaridades entre áreas propícias à recarga e à urbanização

A comparação dos fatores do meio físico relevantes ao processo de urbanização e ao processo de recarga dos aquíferos permite inferir o grau de similaridade de aptidão dessas áreas. Tabela 2.1.

Em relação ao clima, para uma maior recarga dos aquíferos, é necessário que haja grande altura de precipitações constantes, pouco intensas e de curta duração. Enquanto, para urbanização é necessário que haja disponibilidade hídrica, relacionada com a grande altura de precipitações e com padrões geomorfológicos que permitam a armazenagem desse recurso.

Em relação a geomorfologia, é importante menor declividade e maior altura regional nos dois casos, sendo que a menor declividade se destaca em relação a altura regional para a urbanização.

Quanto aos solos, importa para a recarga a permeabilidade e profundidade, enquanto para a urbanização importa tanto a performance para infiltração, quanto maior resistência a cargas. Somado a isso, a maior ocorrência dos solos com melhores características para a recarga e para a urbanização costumam acontecer justamente em áreas de planaltos, que por serem altos regionais também são mais propícias a recarga regional e urbanização, o que demonstra a grande semelhança entre as condicionantes do meio físico desses dois processos.

Caracterização	Fatores relacionados à recarga	Fatores relacionados à urbanização	Relação
Geomorfologia	Regiões topográficas de maior altitude e menor declividade (<20%)	Regiões topográficas de maior altitude e menor declividade (<30%)	Muito alta
Solos	Solos permeáveis e espessos, com umidade antecedente a chuva próxima a capacidade de campo	Solos mais compactos e espessos, que possuem ao mesmo tempo resistência a cargas e capacidade de absorção	Alta
Clima	Grande quantidade de chuvas, pouco intensas e de curta duração	Temperaturas e umidades amenas, disponibilidade hídrica	Alta

Tabela 2.1: Relação entre os fatores propícios à recarga de aquíferos e propícios à urbanização.

Fonte: Própria autoria.

### **3 SISTEMATIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DA FORMA URBANA COM IMPLICAÇÕES SOBRE A PERDA DE INFILTRAÇÃO NATURAL**

Dadas as semelhanças entre as condicionantes físicas das áreas propícias à recarga e à urbanização, entender com maior profundidade como as formas urbanas podem levar à redução das taxas de infiltração torna-se importante. No entanto, avaliar os impactos da ocupação do solo no regime hidrológico é um grande desafio devido à complexidade e heterogeneidade da forma urbana e da ligação forma-impacto hidrológico. Importa para a área do planejamento e projeto urbano entender as nuances relacionadas aos impactos hidrológicos da ocupação do solo urbano, que podem permitir um manejo mais consciente dos parâmetros urbanísticos e a aplicação dos instrumentos de gestão. Buscando melhor estruturar esta questão, esta seção irá construir um quadro metodológico que associa os fatores que levam a perda de infiltração às diretrizes de urbanização sensíveis à água e parâmetros urbanísticos.

#### **3.1 Fatores de manipulação do solo urbano com implicações sobre a infiltração natural**

A primeira etapa da construção do quadro metodológico parte da identificação dos principais fatores que levam a perda de infiltração natural em áreas urbanas. Normalmente, esse fenômeno é associado à menor disponibilidade de superfícies permeáveis, entretanto esse não é o único fator que influencia essa redução. O estudo da bibliografia recente sobre o tema faz concluir que são três as principais alterações causadas pelo processo de urbanização na taxa máxima possível de entrada da água no solo e nas características das primeiras camadas da zona vadosa: (i) o selamento do solo por superfícies impermeáveis (Foster; Morris; Lawrence, 1994, 1998; Arnold; Gibbons, 1996; Maksimovic; Tucci, 2001; Shuster et al., 2005; Marsalek et al., 2006; Jacobson, 2011); (ii) a compactação do solo (Gregory et al., 2006; Pitt et al., 1999, 2003, 2009); e (iii) a redução da cobertura vegetal arbórea (Amaral, 2015; Hamilton; Waddington, 1999; Kays, 1980).

O selamento do solo por superfícies impermeáveis é o impacto mais visível da urbanização na infiltração natural, consistindo em edifícios e áreas pavimentadas com materiais impermeáveis, onde a taxa de entrada da água no solo é igual a zero. O impacto dessas superfícies não é apenas na diminuição da infiltração, mas também, no aumento da velocidade de escoamento, redução do tempo de resposta dos corpos receptores, contaminação da água e maior ocorrência de alagamentos ou enchentes (Booth, 1991; Marsalek et al., 2006; Shuster et al., 2005).

Alguns autores colocam a existência de um nível limiar de urbanização abaixo do qual as mudanças nas respostas hidrológicas não são significativas (Jacobson, 2011). Booth e Jackson (1997) afirmam que há um acúmulo de efeitos prontamente mensurados já a partir de 10% de área coberta por superfícies impermeáveis. Já Yang *et al.* (2010) sugerem que 3 a 5% de área de superfície impermeável é o limiar, além do qual, os efeitos de urbanização começam a ter efeitos negativos no regime hidrológico. Ou seja, mesmo taxas muito baixas de selamento do solo já são capazes de perturbar o meio ambiente.

A média de superfícies impermeáveis em áreas residenciais de baixa densidade é por volta de 20% do total de área ocupada (Arnold; Gibbons, 1996; Maksimovic; Tucci, 2001), referente à malha viária, causando aumento de volume e carga de poluentes de origem difusa (Psat & Wsu 2005).

Enquanto em áreas mais densamente povoadas e em distritos comerciais, a proporção de superfícies impermeáveis pode atingir entre 60% a 80% de toda a área ocupada (Arnold; Gibbons, 1996; Foster; Morris; Lawrence, 1994), referente principalmente aos telhados e estacionamentos, causando o acúmulo de poluentes de deposição atmosférica e emissões veiculares (Psat & Wsu 2005).

Detalhes sobre sua distribuição, extensão, conexão e localização também alteram o comportamento hidrológico de uma determinada área. A este respeito, muitos estudos procuram aferir algumas dessas medidas e separam a área impermeável em: diretamente (ex.: ruas e estacionamentos ligados ao sistema de drenagem); e, indiretamente (ex.: telhados, calçadas, que escoam em direção a áreas vegetadas) conectada com a rede de drenagem convencional (Jacobson, 2011; Shuster *et al.*, 2005).

A água, ao cair sobre áreas impermeabilizadas diretamente conectadas, é rapidamente drenada para fora dos limites da área urbana e despejada em corpos hídricos superficiais, com ou sem tratamento, diminuindo significativamente a oportunidade para infiltração; enquanto a água sobre as áreas impermeabilizadas indiretamente conectadas pode contribuir para a infiltração natural, por meio de áreas permeáveis próximas.

Alguns autores (Hough, 1984; Mota, 1981) e modelos matemáticos fazem correlações diretas entre percentual de superfícies impermeáveis e parâmetros de infiltração ou escoamento, a partir de relações estatisticamente significativas. Por exemplo, a fórmula de cálculo da infiltração Curva-Número (CN), utilizado no SWAT e outros modelos hidrológicos, estabelece diferentes valores para CN que variam de zero (solo muito permeável) até 100 (solo completamente impermeável) de acordo com cenários de ocupação do solo.

O valor de CN, nesse modelo, depende além do tipo de ocupação do solo, das condições antecedentes de umidade, o que pode variar entre: (i) solos secos; (ii) solos cuja umidade corresponde à capacidade de campo; e (iii) solos quase saturados (SWAT, 2009). E das características hidrológicas do solo que podem variar entre: (a) alta taxa de infiltração; (b) moderada taxa de infiltração; (c) baixa taxa de infiltração; e (d) ou muito baixa taxa de infiltração (SWAT, 2009). Tabela 3.1.

Outros autores (Brun; Band, 2000; Jacobson, 2011) que realizaram testes de campo chegaram à conclusão de que essa correlação entre tipos de cobertura do solo e taxas de infiltração não é tão linear, podendo variar grandemente entre áreas com a mesma porcentagem de superfícies impermeáveis e tipo de solo. Ademais, existe dificuldade em conseguir dados confiáveis para as análises. As taxas de impermeabilização e suas características específicas são difíceis de serem medidas com precisão e muitas têm sido as metodologias adotadas para sua quantificação. Por exemplo, Lee e Heaney (2003) realizaram um estudo sobre o impacto de

diferentes métodos de estimativa e classificação de superfícies impermeáveis, onde o resultado mostra uma diferença nos fluxos de pico modelados da ordem de 265% de acordo com a metodologia adotada.

Tipo de cobertura do solo em áreas urbanas	Valores de CN			
	Alta TI	Moderada TI	Baixa TI	Muito Baixa TI
Espaços abertos (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios etc.) com menos de 50% de grama*	68	79	86	89
Espaços abertos com 50 a 75% de grama	49	69	79	84
Espaços abertos com mais de 75% de grama*	39	61	74	80
Superfícies impermeáveis (estacionamentos, estradas, telhados, calçadas)	98	98	98	98
Estradas e calçadas com pedregulhos	76	85	89	91
Estradas e calçadas de terra	72	82	87	89
Zonas comerciais com 85% de superfícies impermeáveis	89	92	94	95
Zonas industriais com 75% de superfícies impermeáveis	81	88	91	93
Zonas residenciais com lotes de 500m <sup>2</sup> e 65% de superfícies impermeáveis	77	85	90	92
Zonas residenciais com lotes de 1000m <sup>2</sup> e 38% de superfícies impermeáveis	61	75	83	87
Zonas residenciais com lotes de 1300m <sup>2</sup> e 30% de superfícies impermeáveis	57	72	81	86
Zonas residenciais com lotes de 2000m <sup>2</sup> e 25% de superfícies impermeáveis	54	70	80	85
Zonas residenciais com lotes de 4000m <sup>2</sup> e 20% de superfícies impermeáveis	51	68	79	84
Zonas residenciais com lotes de 8000m <sup>2</sup> e 12% de superfícies impermeáveis	46	65	77	82
Área recentemente urbanizada, mas ainda sem construções (somente solo exposto, sem vegetação)	77	86	91	94

Tabela 3.1: Valores de CN para áreas urbanas para os quatro tipos hidrológicos de solo.

Fonte: SCS Engineering Division, 1986 apud SWAT, 2009.

Além da extensão e distribuição de superfícies impermeáveis, a compactação do solo também possui grande impacto sobre a infiltração natural urbana. Ela ocorre nas áreas urbanas principalmente devido a atividades associadas com o processo inicial de urbanização, como importação de solos e posterior compactação e ruptura de sua estrutura durante operações cortes, terraplanagem e fundações (Pitt et al., 1999, 2009). (Gregory et al. 2006), demonstram que a compactação causada por equipamentos leves, no dia a dia da cidade, influencia menos a infiltração do que aquela causada por equipamentos pesados e movimentação de terra, que ocorrem na fase inicial de urbanização e em zonas industriais.

Em empreendimentos convencionais que não adotam técnicas de perturbação mínima do solo, grande parte dos lotes, se não todos, é desmatada, aplainada e posteriormente gramada (Hinman, 2012). Nesse tipo de manejo, é possível assumir que, durante o período de construção, as áreas que foram “limpas” dentro da zona de construção se tornam compactadas e terão taxas de infiltração bastante reduzidas (Mcharg; Sutton; Spirn, 1973).

A compactação afeta as propriedades físicas do solo, diminuindo significativamente a porosidade de suas primeiras camadas e levando a uma baixa

da permeabilidade, podendo inclusive dificultar a penetração das raízes (Gregory *et al.*, 2006; Pitt *et al.*, 2003, 2009). Estudos demonstram que a compactação pode reduzir a taxa de infiltração de solos arenosos, em média, seis vezes e meia, uma vez que o teor de água inicial no solo possui menores efeitos na taxa de infiltração nesses solos (Pitt *et al.*, 1999, 2003, 2009). Enquanto a infiltração em solos argilosos são afetados grandemente, tanto pela compactação, quanto pelo teor de água inicial, o que pode rapidamente reduzir em até 11 vezes as taxas de infiltração e aproximá-las de zero (Pitt *et al.*, 1999, 2003, 2009). Figura 3.1.

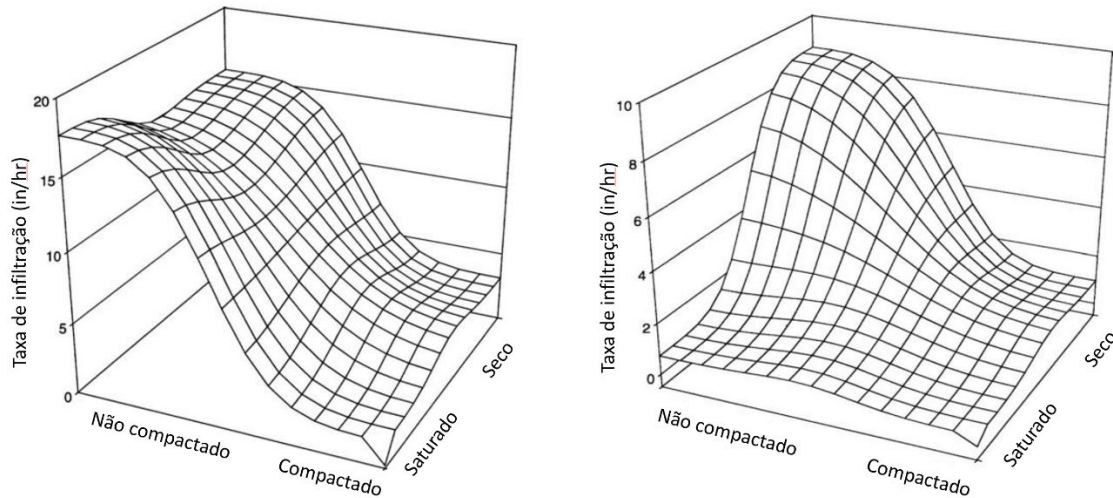


Figura 3.1: Efeito da compactação e da humidade em solos arenosos e argilosos.

Fonte: Adaptado de PITT *et al.* (2009)

Existe uma expectativa de que a compactação do solo urbano diminua com o tempo, desde que não perturbado novamente (Pitt *et al.*, 1999). Ou seja, em novos empreendimentos, os solos compactos são dominantes, com infiltração muito reduzida em comparação com as condições anteriores à construção. Enquanto em áreas onde a perturbação do solo urbano ocorreu há muito tempo, o solo pode ter recuperado parte de sua capacidade de infiltração devido ao desenvolvimento de estruturas radiculares e insetos do solo. Entretanto, Pitt *et al.* (1999) indicam que são necessárias várias décadas para que os solos compactados se recuperem para condições similares às condições de pré-desenvolvimento.

A cobertura vegetal também afeta as taxas de infiltração da água no solo. As raízes das plantas, insetos e micróbios escavam, penetram e juntam as partículas do solo de forma a melhorar sua estrutura e porosidade (Hinman, 2012). Os micros e macros poros criados por essas estruturas melhoram a capacidade de retenção e infiltração do solo. Isto ocorre principalmente em áreas com cobertura arbórea, por que possuem raízes mais profundas e mais capazes de alterar a estrutura do solo em grandes áreas ao seu redor, enquanto a porosidade criada pelas raízes da maioria das espécies de gramíneas é apenas superficial (Mcharg; Sutton; Spirn, 1973; Amaral, 2015).



Sendo assim, juntamente com a perturbação do solo, a substituição da vegetação nativa, principalmente do porte arbóreo, por gramíneas ou por solo exposto, é outro fator de grande influência sobre a permeabilidade do solo urbano. Kays (1980) analisou as taxas de infiltração em uma bacia residencial de baixa densidade, que teve a maior parte de seu solo perturbado, consequentemente compactado, e da vegetação nativa removida durante a urbanização. O estudo mostrou que, embora as superfícies impermeáveis tenham selado apenas 27,1% do solo, a taxa de infiltração nas áreas gramadas foi reduzida em até 30 vezes, em comparação com a área de floresta remanescente com o mesmo tipo de solo, atingindo taxas de infiltração inferiores a 0,45. cm/h. Tabela 3.2.

	<b>Tipo de ocupação</b>	<b>Percentual ocupado da bacia (%)</b>	<b>Taxa média de infiltração (cm/h)</b>
Superfícies permeáveis	Floresta de pinheiros de meia idade encorpado de folhas	2,6%	31,56
	Área sobre anterior floresta de pinheiros, com baixa perturbação do solo, gramados e grandes árvores preservadas	23,8%	11,20
	Área sobre anterior campo de cultivo, com baixa perturbação do solo, gramados e novas árvores	9,1%	4,78
	Área sobre anterior campo de cultivo com arado, com baixa perturbação do solo, gramados e poucas árvores	8,7%	0,70
	Alta perturbação do solo por terraplanagem, gramados e poucas novas árvores	7,1%	1,25
	Alta perturbação do solo por cortes, gramados e poucas novas árvores	15,1%	0,67
	Alta perturbação do solo por cortes e terraplanagem, gramados e nenhuma árvore	4,7%	0,45
	Superfícies impermeáveis	27,1%	-

Tabela 3.2: Apresentação dos resultados do estudo de Rays (1980)

Fonte: Adaptado de Kays (1980).

Estudo realizado por Kelling e Peterson (1974) procurou demonstrar que as diferenças de taxa de infiltração entre diferentes áreas urbanas gramadas com o mesmo tipo de solo devem-se à compactação do solo. Este estudo (Kelling; Peterson, 1974), conclui que áreas gramadas apresentam menores taxas de infiltração do que áreas com cobertura arbórea, mas no meio urbano, as áreas gramadas encontram-se normalmente associadas a perturbação e compactação do solo, havendo uma redução ainda maior da taxa de infiltração.

### **3.2 Relações dos fatores com consequências sobre a infiltração natural e diretrizes de urbanização sensível à água**

A partir da identificação dos três principais fatores que levam a perda de infiltração natural nas áreas urbanas, investigou-se os manuais e documentos de abordagens de urbanismo sensível à água em busca de diretrizes de desenho urbano, com influência no aumento da infiltração natural; procurando sistematizá-las de acordo com seu potencial para mitigar cada um dos fatores: selamento, compactação e redução da cobertura vegetal. Os seguintes manuais foram analisados: (i) Ian McHarg, Sutton e Spirn (1973); (ii) IHP - Programa Hidrológico Internacional (Andjelkovic, 2001); (iii) LID (Hinman, 2012, Prince George County, 2000; EPA,

2000a, 2000b); (iv) WSUD (Melbourne Water, 2014); (v) e SuDS - Sistemas de Drenagem Sustentável (Ballard et al., 2015).

As diretrizes que se aplicam à mitigação do impacto de áreas impermeabilizadas, foram divididas em dois grupos de estratégias principais: (i) redução da área total de superfícies impermeáveis; e, (ii) desconexão de com o sistema de drenagem convencional.

Para redução da área total de superfícies impermeáveis, o traçado viário é muito importante, uma vez que ele é responsável por grande parte do total destas superfícies em áreas urbanas, principalmente as diretamente conectadas ao sistema de drenagem convencional.

A escolha do traçado viário pode causar variações no total de sua superfície em até 30% (Prince Georges County, 2000; Hinman, 2012). O sistema de traçado em grelha uniforme é o que ocupa a maior área e o que mais predomina nas cidades. Para diminuir sua extensão, é possível reduzir cruzamentos de vias por meio da ampliação de quarteirões. Já os traçados curvilíneos ocupam as menores áreas (Prince Georges County, 2000).

Apesar de o traçado em grelha resultar em uma proporção maior de áreas impermeabilizadas, ele promove acesso mais direto aos serviços, enquanto os sistemas curvilíneos geralmente desencorajam as viagens a pé por serem longos, confusos e menos conectados. Recentemente, planejadores têm integrado os dois modelos para incorporar pontos positivos dos dois (Andrade, 2014; Hinman, 2012). Essa disposição de vias tem recebido vários nomes, como traçado híbrido ou planos de cabeceiras (Hinman, 2012).

A largura das vias também possui grande influência na área coberta por essas estruturas. Pode-se reduzir a largura pela redução do número de vagas laterais, pela redução do tamanho de bolsões de retorno e pela redução da largura das faixas (Prince Georges County, 2000; Hinman, 2012). Uma redução de largura da faixa de oito para seis metros pode reduzir o total de área impermeabilizada de uma rua em 30%, o que resulta em 25% de redução do escoamento superficial gerado por essa área (Hinman, 2012).

O manual LID para a cidade de Puget Sound (noroeste dos Estados Unidos) recomenda que ruas de serviço, ou de acesso a áreas residenciais não possuam mais de três metros e meio de largura, quando de mão única; e cinco metros quando de mão dupla, exatamente para reduzir o total de área coberta por essas estruturas (Hinman, 2012). O impacto desta adequação pode ser enorme, uma vez que, por exemplo, a Associação Americana de Estradas e Transportes estima que 65 a 80% das ruas pavimentadas do país são ruas de serviço ou de acesso a áreas residências ou rurais (Hinman, 2012, p. 47). A redução da largura das vias de acesso pode ser uma medida que auxilia na redução da velocidade tornando essas vias mais seguras. Outras medidas consideradas de "*traffic calming*", como estrangulamentos, desalinhamentos, refúgios de travessia e balões, também podem reduzir o total de área impermeabilizada das vias.

Na escala do lote, para reduzir o total de áreas impermeabilizadas, recomenda-se (Mcharg; Sutton; Spirn, 1973; Prince Georges County, 2000; Andjelkovic, 2001):

- a) verticalização das construções para que ocupem um menor percentual da área do lote, para um mesmo total de metros quadrados construídos;
- b) entradas de garagens compartilhadas para limitar o percentual pavimentado dentro dos lotes;
- c) limitação da largura de garagens ao máximo de 2,45m;
- d) redução do afastamento frontal das construções para minimizar o comprimento das áreas de acesso;
- e) adoção de casas geminadas ou afastamento lateral obrigatório reduzido.

Estudos realizados pelo LID demonstram que a adoção dessas estratégias pode aumentar a área considerada permeável de um lote de 500m<sup>2</sup> em até 70% (Hinman, 2012). Ainda, a configuração dos lotes influencia no traçado viário e, conseqüentemente, no percentual impermeabilizado total do parcelamento. Casas mais agrupadas em lotes com menores frentes reduzem a área total de ruas necessária para cada unidade imobiliária (Hinman, 2012).

É comum a associação das estratégias de desenho urbano sensível à água com baixas densidades construtivas, entretanto, isto é equivocado. Áreas de baixa densidade apresentam maior quantidade de superfícies impermeabilizadas por residência. Por exemplo, um estudo da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2000b) modelo ou cenários de escoamento superficial para três densidades urbanas, em três escalas de ocupação, para examinar a premissa de que a urbanização com densidade mais baixa protege melhor distribuição de água pluvial na bacia. O que foi descoberto é que as densidades mais altas geravam menos escoamento pluvial por moradia em todas as escalas analisadas. Tabela 3.3.

Cenário	Acres urbanizados	Percentual impermeabilizado (%).	Escoamento total (ft <sup>3</sup> /yr)	Escoamento / domicílio (ft <sup>3</sup> /yr)	Percentual do escoamento domiciliar / cenário A (%)
<b>Na escala de um acre</b>					
A: 1 domicílio	1	20%	18.700	18.700	0
B: 4 domicílios	1	38%	24.800	6.200	67%
C: 8 domicílios	1	65%	39.600	4.950	74%
<b>Oito casas acomodadas nos diferentes cenários de densidade</b>					
A: 8 domicílios	8	20%	149.600	18.700	0
B: 8 domicílios	2	38%	49.600	6.200	67%
C: 8 domicílios	1	65%	39.600	4.950	74%
<b>Na escala de uma bacia Hidrográfica (10.000 acres)</b>					
A: 10.000 domicílios	10.000	20%	187M	18.700	0
B: 10.000 domicílios	2.500	9,5%	62M	6.200	67%
C: 10.000 domicílios	1.250	8,1%	49.5M	4.950	74%

Tabela 3.3: Associação entre diferente densidade de ocupação urbana e geração de áreas impermeáveis e escoamento superficial.

Fonte: Adaptado de EPA (2000b).

Esses estudos demonstram que loteamentos de alta densidade possuem um impacto à água, no âmbito regional, de uma bacia hidrográfica do que o loteamento de baixa densidade. Entretanto, na escala local, o empreendimento de maior densidade possui maior percentual de cobertura impermeável, o que pode levar a contaminação, ou assoreamento de corpos hídricos próximos. Esses problemas locais podem ser amenizados por estratégias de desenho urbano sensível à água, relacionados a contenção e redução do escoamento superficial e a implantação de técnicas de drenagem sustentável.

As áreas impermeáveis não passíveis de redução, ainda podem receber intervenções para se tornarem desconectadas entre si, e do sistema de drenagem convencional. Nesse sentido, é possível projetar ruas para que seu escoamento superficial seja drenado para sistemas naturais, zonas vegetadas e solos de alta permeabilidade. Neste desenho, elementos como os meios-fios e baias devem ser rebaixados e/ou os próprios canais laterais de escoamento das vias podem ser substituídos por valas vegetadas com potencial de integrar elementos de drenagem sustentável, como jardins de chuva.

Outra medida possível, nesse sentido, é a utilização de pavimentos semipermeáveis que podem servir para aumentar as taxas de infiltração<sup>3</sup> e a retenção da água. Estes pavimentos são mais adequados para áreas destinadas a caminhada, passeios de bicicleta e acesso as áreas residenciais, de serviço e estacionamentos (Prince Georges County, 2000). Também, as áreas impermeáveis remanescentes dentro dos lotes podem ter seu escoamento direcionado para zonas vegetadas e solos de alta permeabilidade, onde podem ser introduzidas técnicas de drenagem sustentável ou infraestrutura verde.

Essas estratégias para redução mitigação de áreas seladas encontram-se resumidas e esquematizadas na Figura 3.2.

As diretrizes que se identificou como aquelas que se aplicam à mitigação do impacto de áreas compactadas, foram divididas em dois grupos de estratégias principais: (i) perturbação mínima do solo; e, (ii) recuperação das áreas compactadas.

As técnicas de perturbação mínima do solo, procuram reduzir a proporção de áreas onde a estrutura do solo é rompida e compactada.

As medidas para redução das áreas impermeabilizadas dentro dos lotes que levam a menor ocupação proporcional do lote, podem levar também a redução da perturbação do solo. Para isso é necessário também reduzir o tamanho do canteiro de obras ao redor da construção. McHarg, Sutton e Spirn (1973) estimam que a área mínima que precisa ser desmatada e compactada no entorno da construção, que deveria ser adotada para perturbação mínima do solo, varia entre dois metros e meio

---

<sup>3</sup>A infiltração proporcionada por esses pavimentos, apesar de superior às das superfícies impermeáveis, ainda é bastante baixa, uma vez que suas camadas inferiores normalmente são compactadas para sua implantação e pelo uso diário (HINMAN, 2012).

a quatro metros e meio a depender do tipo e tamanho da construção, considerando técnicas de construção convencionais.

Mitigação do impacto de áreas seladas		
Como	Implicações	Exemplo
Sistema Viário com Layout Híbrido	O layout quadricula pode ocupar uma área 30% maior do que a de layouts curvilíneos (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000). Entretanto, o layout quadricular promove mais mobilidade, enquanto o curvilíneo é confuso e menos conectado. Assim, a integração dos dois, o layout híbrido, é o sugerido (HINMAN, 2012).	
Redução da largura das vias	Para isso pode-se limitar o número de vagas, áreas de manobra e largura de vias. Uma redução de 2m pode reduzir o total de área pavimentada em 30% (HINMAN, 2012). A redução da largura é importante principalmente nas ruas residenciais e de serviço, que permitem uma menor velocidade e são predominantes nas cidades. Por exemplo, nos EUA é estimado que 65 a 80% das ruas pavimentadas se encaixem nessa categoria (HINMAN, 2012).	
Lotes e frentes menores	Lotes menores e com menores frentes reduzem o total de área de ruas necessárias para seu acesso, enquanto lotes grandes aumentam a quantidade de área pavimentada pública por casa (HINMAN, 2012).	
Limitar a superfície selada dentro dos lotes	É necessário agrupar as construções; reduzir o afastamento frontal e pavimentação de acesso (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973); e utilizar garagens compartilhadas, com acesso de largura limitada. Estudos mostram que a adoção dessas estratégias pode aumentar a área permeável de um lote em 70% (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000).	
Altas densidades	A associação entre menores densidades e menores impactos hidrológicos é equivocada. As áreas de baixa densidade possuem maior percentual de áreas impermeáveis por habitante, gerando um maior escoamento e menor infiltração por pessoa (EPA, 2000b). Assim, altas densidades possuem um menor impacto hidrológico na escala regional para alojar grandes populações. Entretanto, em pequena escala o aumento de áreas impermeáveis pode aumentar os impactos nos corpos hídricos adjacentes.	

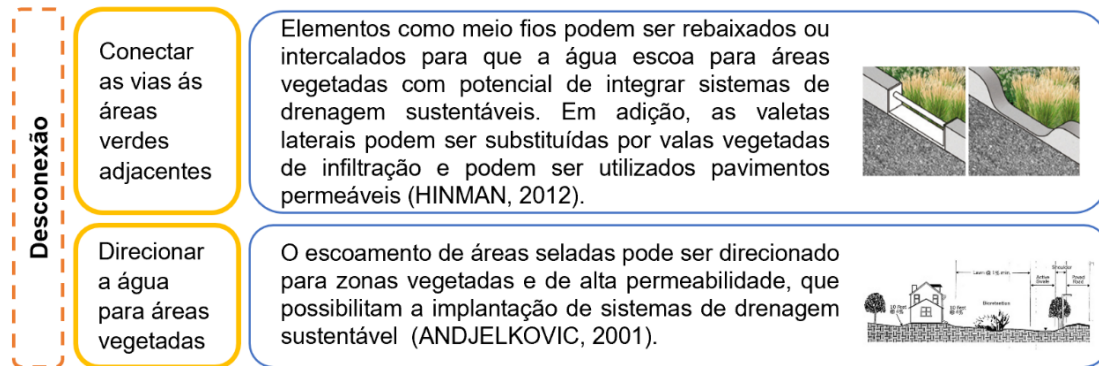


Figura 3.2: Síntese de diretrizes sensíveis à água para mitigar a selagem do solo urbano

Fonte: Própria autoria

Pode-se utilizar ainda, para redução da zona compactada, técnicas de fundações de baixo impacto que envolvem poucas escavações e nivelamento, possibilitando que a estrutura nativa do solo sob a unidade continue a desempenhar parte de sua função hidrológica (Hinman, 2012).

Além destas medidas, a incorporação das características naturais do terreno no projeto minimiza a perturbação das áreas naturais, evitando a perda de sua funcionalidade hidrológica. Para isso, deve-se procurar manter a topografia e canais de escoamento naturais, orientando o maior eixo das edificações ao longo do contorno topográfico (Mcharg; Sutton; Spirn, 1973; Prince Georges County, 2000).

O sistema viário também possui forte influência sobre a perturbação do solo, tanto pela passagem diária de veículos pesados, quanto pela grande necessidade de cortes e aterros associada à sua implantação. Nesse sentido, os traçados curvilíneos ou híbridos também podem reduzir a necessidade dos cortes e aterros, facilitando o posicionamento das ruas principais alinhadas às curvas de nível do terreno (Andjelkovic, 2001; Prince Georges County, 2000).

Para recuperação das áreas já compactadas a implantação apenas de gramados não é recomendada, uma vez que seu sistema radicular superficial permite uma menor recuperação do solo e proteção contra o processo continuado de compactação devido à atividades humanas diárias (Andjelkovic, 2001). Recomenda-se então para recuperação destes solos replantio de indivíduos de porte arbóreos, principalmente nativos, e técnicas de compostagem do solo que reintroduzem microrganismos e nutrientes necessários à sua reestruturação.

Essas estratégias para redução mitigação de áreas compactadas encontram-se resumidas e esquematizadas na Figura 3.3.

E por fim, as diretrizes que se aplicam à mitigação do impacto da redução da cobertura vegetal, podem ser divididas em dois grupos de estratégias principais: (i) a localização das áreas vegetadas naturais e antrópicas; e (ii) e sua multifuncionalidade, multi-escalaridade e conectividade.

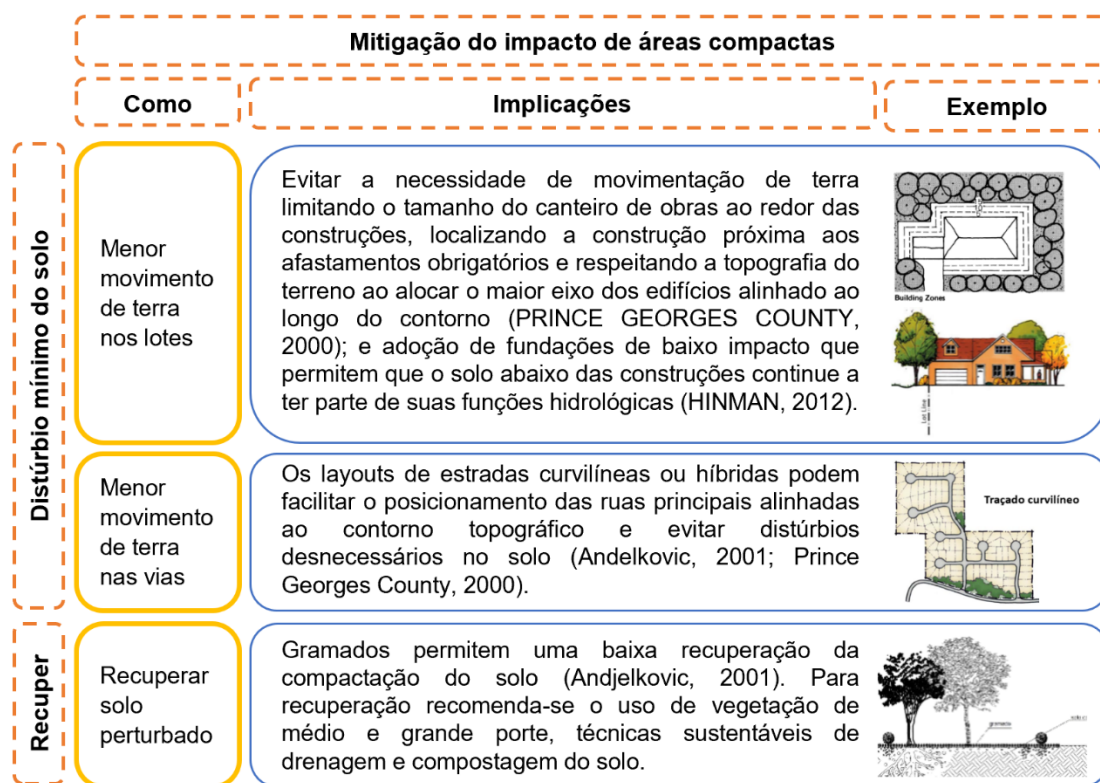


Figura3.3: Síntese de diretrizes sensíveis a água para mitigar a compactação do solo urbano  
 Fonte: Própria autoria

A prevenção do desmatamento e recuperação ambiental precisa ser priorizada em áreas sensíveis à manutenção de funções hidrológicas: (i) áreas com vegetação nativa; (ii) corpos d'água e suas zonas de amortecimento; (iii) zonas úmidas naturais; (iv) solos de alta permeabilidade e capacidade de armazenamento; e (v) canais naturais de drenagem(Hinman, 2012; Prince Georges County, 2000).

Em relação aos solos de alta permeabilidade, um estudo de Mcharg, Sutton e Spirn (Mcharg; Sutton; Spirn, 1973) classificou os solos de um empreendimento urbano em quatro diferentes tipos: (A) solo ótimo para recarga; (B) solo bom para recarga; (C) solo mediano para recarga; e (D) solos ruins para recarga. Eles analisaram que áreas urbanas para infiltrar uma chuva de 1 milímetro teriam que preservar um mínimo de 10% da área, quando implantada em solos do tipo A; 25%, em solos do tipo B; e, 50%, em solos do tipo C; enquanto os solos do tipo D necessariamente teriam que escoar a chuva para outros locais e, portanto, poderiam ser 100% ocupados (Mcharg; Sutton; Spirn, 1973).

Para os casos onde as áreas ocupadas recebessem escoamento de outras áreas, para ocupar os solos C ou D, seria necessário para cada unidade ocupada de solo 11% a mais de área preservada de solos do tipo A ou 33% em solos do tipo B ou 100% do tipo C, de modo a garantir a infiltração natural da água da chuva. Nesse sentido, o estudo recomendava a ocupação em solos do tipo D ou C e preservação, onde possível dos solos do tipo A e B (Mcharg; Sutton; Spirn, 1973).



Nesse seguimento, grandes espaços livres de uso público, como praças e parques, que possuem maior potencial para manter grandes áreas vegetadas, devem estar prioritariamente associados a áreas de importante função hidrológica, devendo ser planejados para que integrem sistemas de gestão da água às suas multi-funções, a partir da preservação das áreas sensíveis e utilização de técnicas de drenagem sustentável.

Essas estratégias para redução mitigação de áreas desflorestadas encontram-se resumidas e esquematizadas na Figura 3.4.

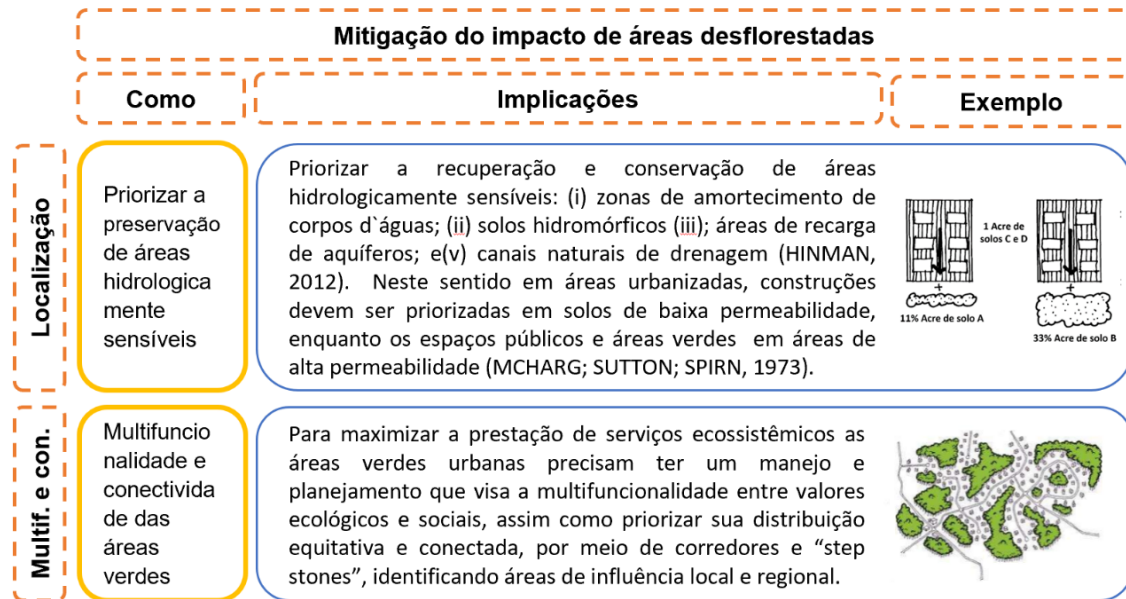


Figura 3.4: Síntese de diretrizes sensíveis a água para mitigar o impacto de áreas desflorestadas  
Fonte: Própria autoria

### 3.3 Quadro metodológico de análise da forma urbana quanto à interferência na infiltração natural

A terceira e última etapa da construção do quadro metodológico se concentra na tradução, em parâmetros urbanísticos, das diretrizes de urbanização sensível a água, sistematizadas no item anterior; e para isso, procurou-se o auxílio de elementos morfológicos urbanos.

Os elementos morfológicos são as unidades ou partes físicas que, associadas e estruturadas constituem a forma urbana (Lamas, 2004). São elementos comuns a forma urbana, apesar do tempo e localidade, e funcionam como chaves de leitura desta forma. Auxiliam a tradução do que se quer ler da forma urbana, em parâmetros urbanísticos, o que permite a condução de decisões de análise, planejamento e projeto.

A forma urbana pode constituir uma resposta ou um problema, para um conjunto de questões que o planejamento e projeto urbano pretendem solucionar. Ela é a resposta à um contexto, ou seja, é o produto acumulado das características do lugar



e de sucessivas decisões de diferentes atores que ao longo do tempo se influenciam mutua e continuamente (Bettencourt, 2010; Lamas, 2004).

Para Lamas (2004), a forma urbana apresenta a leitura de um momento da cidade, que depende das condições históricas, sociais, políticas e econômicas e das teorias e posições culturais e estéticas de quem as planeja, idealiza e constrói. Ocorre, ainda, grande percentual das cidades constituído de modo espontâneo, sem projeto, planejamento, o que acaba por gerar impactos que colocam em destaque os estudos sobre a forma urbana, principalmente sob uma perspectiva ecológica. Lamas (2004) identifica onze elementos configuracionais que compõem a forma urbana: (i) o pavimento; (ii) o edifício; (iii) o lote; (iv) o quarteirão; (v) a fachada; (vi) o logradouro; (vii) a rua; (viii) a praça; (ix) o monumento isolado; (x) a vegetação; (xi) e o mobiliário urbano.

Panerai (2014) propõe uma organização desses elementos do tecido urbano em três conjuntos: (i) a rede de vias e espaços públicos; (ii) os parcelamentos fundiários; e (iii) as edificações.

Entre esses conjuntos de elementos morfológicos, apenas os relacionados à ocupação do solo são relevantes para a análise do potencial de infiltração. Pela importância do traçado viário para o manejo da água urbana e o grande percentual de área que ocupa em um parcelamento optou-se por separá-lo em outros elementos morfológicos de caráter público.

Assim, resultou nos seguintes elementos para efeito da análise: (i) o traçado viário; (ii) os espaços públicos; (iii) e os lotes. As estratégias de urbanização sensível à água revisadas permeiam-se entre cada um desses conjuntos de elementos, servindo muitas vezes a mais de um deles de uma só vez e se conectando com os fatores do processo de urbanização relacionados à perda de infiltração natural da água, podendo mitigá-los, conforme esquematizado na Figura 3.5.

A combinação desses três conjuntos de elementos configuracionais urbanos, identificados como relevantes para compreensão do fenômeno pode resultar em uma multiplicidade de tipologias<sup>4</sup>. Para estabelecer as características que serão utilizadas como critérios de identificação, ou avaliação dessas tipologias importa sua relação com os três fatores do processo de urbanização com impacto na redução da infiltração natural – selamento, compactação e redução da cobertura vegetal – por meio de quatro parâmetros gerais: (i) percentual de áreas seladas, onde não ocorre a infiltração; (ii) percentual de áreas compactadas, que se entende no estudo como as áreas que passaram pelo processo de urbanização tendo sua cobertura vegetal natural retirada e substituída, onde as taxas de infiltração são bastante reduzidas; e (iii) percentual, dentro da área urbanizada, de cobertura vegetal de porte arbóreo, onde as raízes são capazes de recuperar parte da compactação e auxiliar na infiltração.

---

<sup>4</sup> De acordo com Panerai (2014), tipologia urbana é o conjunto de determinados elementos reunidos por uma lógica de variação de características estabelecidas.

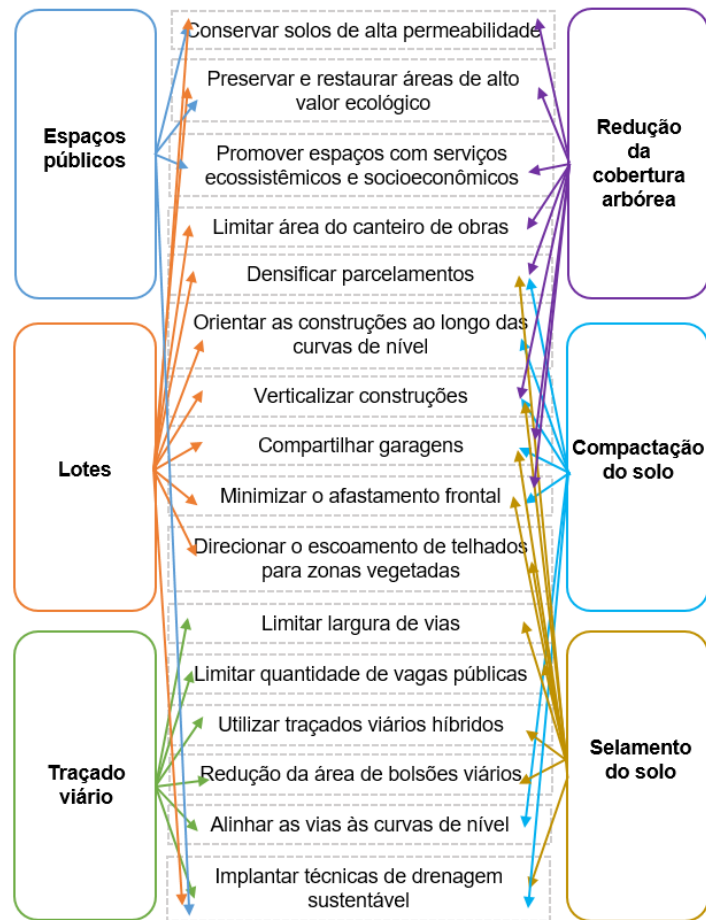


Figura 3.5: Relação entre os elementos da forma urbana, diretrizes de urbanização sensíveis à água e condicionantes da perda de infiltração.

Fonte: Própria autoria

Para estabelecer as características relevantes à análise e planejamento de cada um destes elementos morfológicos importa saber sua relação com os três fatores do processo de urbanização com impacto na redução da infiltração natural – selamento, compactação e redução da cobertura vegetal – por meio de quatro parâmetros gerais: (i) percentual de áreas seladas, onde não ocorre a infiltração; (ii) percentual de áreas compactadas, que se entende no estudo como as áreas que passaram pelo processo de urbanização tendo sua cobertura vegetal natural retirada e substituída, onde as taxas de infiltração são bastante reduzidas; e (iii) percentual, dentro da área urbanizada, de cobertura vegetal de porte arbóreo, onde as raízes são capazes de recuperar parte da compactação e auxiliar na infiltração. Vale ainda verificar na forma analisada ou projetada a quantidade de área selada por habitante, para demonstrar o impacto per/capita da conformação adotada.

Os critérios associados individualmente a cada um dos elementos morfológicos, são aqueles que podem alterar o resultado dos critérios gerais e estão apresentados na Figura 3.6. Esses critérios de avaliação podem ser diretamente relacionados a

parâmetros urbanísticos existentes ou podem constituir novos parâmetros urbanísticos relevantes ao planejamento de ocupações urbanas em áreas de alto potencial de recarga.

Elementos Morfológicos		Critérios de avaliação	Critérios de síntese da tipologia
Público	Sistema Viário	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Percentual de área ocupada no parcelamento</li> <li>. Percentual ocupado por estacionamentos</li> <li>. Largura das ruas de serviço e de acesso residencial</li> <li>. Área por habitante</li> <li>. Conexão com a rede de drenagem convencional</li> <li>. Tipo de layout</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Percentual total de áreas seladas</li> <li>. Área selada por habitante</li> <li>. Percentual de solo potencialment e compactado</li> <li>. Percentual de área com cobertura arbórea-arbustiva</li> </ul>
	Espaços públicos livres	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Percentual de área ocupada no parcelamento</li> <li>. Percentual de pavimentos impermeáveis</li> <li>. Percentual de cobertura arbórea-arbustiva</li> <li>. Associação com áreas de alta sensibilidade hidrológica</li> <li>. Multifuncionalidade e conectividade</li> </ul>	
Privado	Lotes	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Percentual de área ocupada no parcelamento</li> <li>. Tamanho do lote</li> <li>. Taxa de ocupação</li> <li>. Percentual de pavimentos impermeáveis</li> <li>. Percentual de cobertura arbórea-arbustiva</li> <li>. Compartilhamento e posição da garagem</li> <li>. Orientação das construções em relação ao contorno topográfico</li> <li>. Quantidade de andares permitidos</li> <li>. Afastamentos obrigatórios</li> <li>. Área impermeável por habitante</li> <li>. Conexão com a rede de drenagem convencional</li> </ul>	

Figura 3.6: Quadro teórico-metodológico de avaliação da forma urbana para um melhor desempenho quanto à recarga de aquíferos.

Fonte: Própria autoria

## 4 RELAÇÕES ENTRE AS ÁREAS PROPÍCIAS À RECARGA DOS AQUÍFEROS E À URBANIZAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL

O Distrito Federal de Brasília se constitui em um território onde a problemática da ocupação urbana em áreas de recarga de aquíferos possui grande relevância dado que possui como a mais relevante fonte de água a infiltração em seu próprio território uma vez que não conta com rios a montante. Seu território é de planalto onde não se encontram grandes drenagens superficiais e onde o clima é composto de um período chuvoso e um período seco fazendo com que os aquíferos tenham função estratégica no território para: (i) manutenção das vazões superficiais na época de seca; e (ii) reservatório natural de estocagem estratégica de água.

Isso somado as intensas pressões decorrentes do aumento populacional e crescimento da mancha urbana e agropecuária que fazem com que suas áreas naturais, em 60 anos de existência cheguem a menos de 50%. São pressões que podem ser visualizadas pela população no fato de em 2016 ter se instalado um quadro

de crise hídrica que se prolongou até 2018 e que acometeu os reservatórios de água subterrânea e as áreas abastecidas por esses. A diminuição de vazão e falhas na captação levou a Companhia de Abastecimento (Caesb) a implantar redução de pressão e rodízio de abastecimento nas diferentes cidades do Distrito Federal<sup>5</sup>.

A redução da quantidade de água nos aquíferos não pode ter sido causada por mudanças recentes no regime de chuvas, uma vez que o tempo de deslocamento da água nos reservatórios subterrâneos é bastante lento. Pesquisa de Lousada e Campos (2006) mostra que as águas mais rasas dos aquíferos freáticos apresentam idades, em média, mais velhas do que cinco anos, enquanto as águas mais profundas apresentam idades mais antigas do que 30 anos. Ou seja, os impactos percebidos, principalmente, nos poços profundos operados pela Caesb demonstram que há outros fatores envolvidos na situação de escassez hídrica no DF, que não apenas as mudanças climáticas.

Esse contexto mostra que a redução de vazão dos aquíferos no DF está relacionada também com mudanças no padrão de ocupação do solo, demonstrando a importância da gestão do ciclo da água, em especial a função de recarga dos aquíferos, integrada a política de planejamento territorial na região. Entretanto, segundo Oliveira et al. (2015) e Santos & Koide (2016) ainda é pequena a atenção dada à estudos desenvolvidos para a região para a quantificação de taxas de recarga e caracterização espacial do processo, sendo que ainda não existem valores precisos de taxas de recarga associadas aos diferentes tipos de solo e cobertura. Alguns estudos que procuraram estimar taxas de infiltração em áreas de cerrado stricto sensu, relatam taxas que variam entre 20% a 60% da altura precipitada a depender do tipo de solo (Santos; Koide, 2016; Oliveira et. al, 2015), demonstrando a importância da vegetação desse bioma para a infiltração. Também, sabe-se que a condutividade hidráulica do solo é o fator mais importante na regulação da recarga em áreas de cerrado (Santos; Koide, 2016) e que a recarga dos aquíferos rasos se dá principalmente por meio da precipitação (Campos, 2004) e dos aquíferos profundos principalmente a partir dos aquíferos rasos (Lousada & Campos, 2005).

#### **4.1 Características do meio físico do Distrito Federal**

Tendo em conta essas questões a pesquisa inicialmente procurou identificar territorialmente o potencial de recarga de aquíferos e de urbanização do DF utilizando o cruzamento das características do meio físico que condicionam o processo de recarga e de urbanização e que podem ser analisadas principalmente por meio de dados da geomorfologia, pedologia e clima.

Em relação à geomorfologia, em 2011, o relatório do meio físico e biótico elaborado pelo ZEE/DF (GDF; Greentec, 2011) integrou e adaptou abordagens de Novaes Pinto (1994) e Martins & Baptista (1998) definindo cinco compartimentos para o DF, a saber: Planos Elevados, Planos Intermediários, Vales Dissecados, Rebordos e Rampas Íngremes. Essa proposta considera o padrão de relevo, a declividade, o grau

---

<sup>5</sup>Resolução nº 21 da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), de 08 de setembro de 2018.

de dissecação e a densidade de drenagem. Os planos elevados e intermediários representam os melhores sítios para recarga dos aquíferos e ocupação urbana, uma vez que esses são os altos regionais, com altitudes superiores a 1.100 metros e entre 950 e 1.050 metros, respectivamente, e possuem as menores declividades, inferiores a 12%, e solos mais profundos, permeáveis e bem estruturados. As áreas de rebordo possuem declividade que varia entre 10 e 20% e presença de solos de média permeabilidade que são menos adequados para recarga e para ocupação urbana, sendo necessária atenção para com a implantação de infraestrutura adequada para conservação dos solos nessas áreas. Os vales dissecados são menos efetivos em termos da contribuição para a recarga, pelas altas declividades superiores a 20% e por serem o baixo regional, com altas densidades de drenagem, o que também limita a ocupação urbana. Já as rampas íngremes possuem declividades acentuadas, acima de 25% e presença de solos rasos e pouco permeáveis, contribuindo pouco ou nada para a recarga e possuindo sérias restrições à ocupação urbana devido à alta suscetibilidade à ruptura e erosão. Figura 4.1.

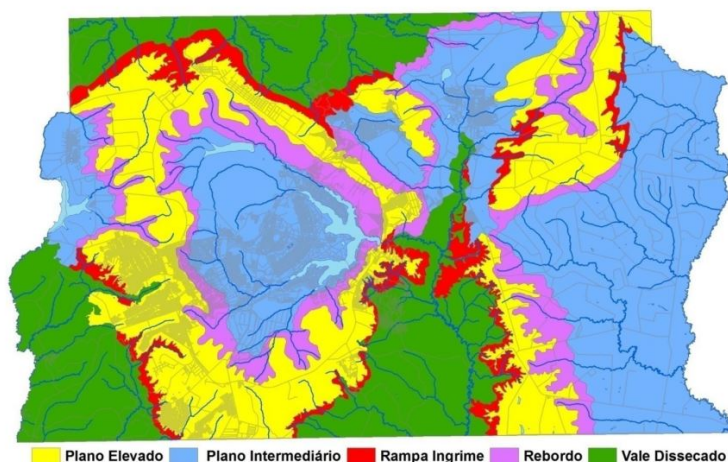


Figura 4.1: Compartimentação geomorfológica do DF  
Fonte: GDF & Greentec, 2011

Quanto à pedologia, no DF, são três as classes de solos mais representativas em termos de distribuição espacial: Latossolos Vermelhos e Vermelhos-Amarelos (54% da área do Distrito Federal) e Cambissolos Háplicos (31%). Há ainda outras classes de ocorrência mais restrita, porém de importância significativa que merecem destaque: Gleissolos, Nitossolos, Plintossolos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos e Chernossolos (Gdf; Greentec, 2011; Lousada; Campos, 2005; Souza, 2013). Os Latossolos Vermelhos e Vermelhos-Amarelos permitem qualquer tipo de uso urbano, com edificações de diferentes portes, subsolo, instalação de sistemas de saneamento *in situ* e possuem, de forma geral, os maiores valores de condutividade hidráulica vertical e apresentando as melhores condições para recarga natural e artificial. São muito importantes para a produção hídrica na região e para ocupação urbana. Enquanto as áreas que são recobertas por Cambissolos Háplicos, de modo geral, possuem as piores condições para recarga, mas podem ser ocupadas nas áreas de menor declividade. Nesse caso, deve-se ter atenção à preservação do solo devido

a sua suscetibilidade à erosão e evitar a instalação de sistemas de saneamento *in situ* e subsolos. Nos outros 15% do território, os Neossolos Quartzarênicos, Nitossolos e Argissolos apresentam algumas limitações à ocupação urbana; dos quais, apenas o Neossolo Quartzarênico possui alta condutividade hidráulica, contribuindo para recarga. Já os Neossolos Flúvicos e Gleissolos Hápicos devem ser vinculados exclusivamente à preservação ambiental devido à sua sensibilidade a inundações, presença de matéria orgânica e alta plasticidade. Os Plintossolos não contribuem para recarga, mas são adequados para ocupação urbana por causa da sua alta resistência e estabilidade. Figura 4.2.

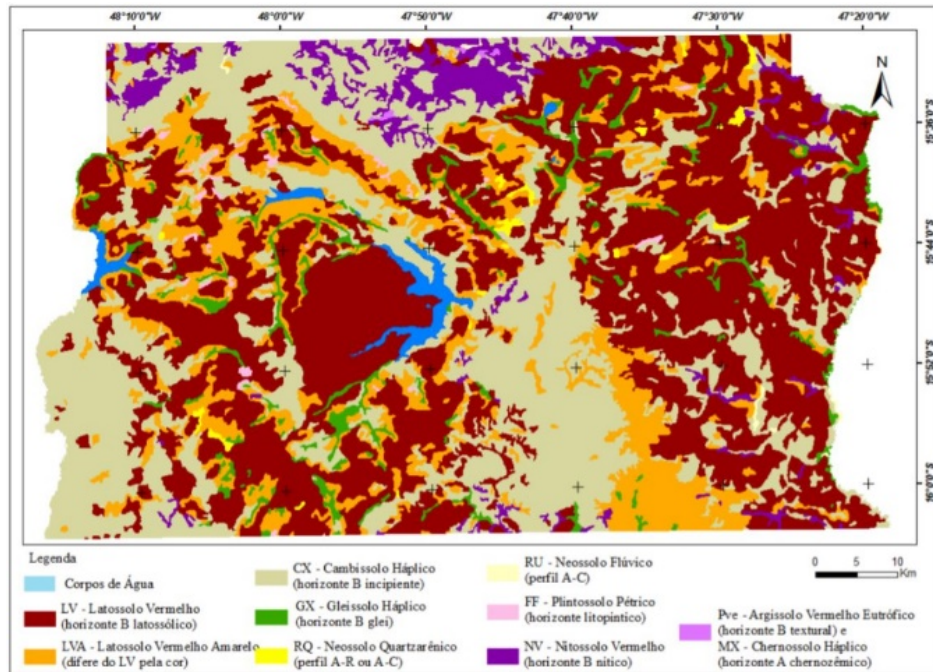


Figura 4.2. Mapa de solos do DF  
Fonte: GONÇALVEZ 2007, modificado de EMBRAPA, 1978

Quanto ao clima, de acordo com a classificação Köppen, o DF tem clima tropical úmido com inverno seco. A carta bioclimática do DF, da ABNT NBR 15220-3, mostra que, durante a maior parte do ano, o território está dentro de zonas de conforto onde não são necessárias estratégias de condicionamento térmico, não sendo um limitante à ocupação urbana na região.

A média pluviométrica anual do Distrito Federal varia entre 1.200 e 1.500 milímetros. Entretanto as chuvas não são bem distribuídas durante o ano; o mês de janeiro apresenta o maior índice pluviométrico médio (248 mm./mês), enquanto os meses de junho, julho e agosto registram os menores índices (11 mm./mês). Em relação à distribuição das chuvas no território, estudo de Gonçalves (2007) demonstra que as chuvas são bem distribuídas; na maior parte do território, há uma média pluviométrica anual de um mínimo de 1.100 milímetros.

A insolação é maior do que no período chuvoso devido à escassez de nebulosidade, o que acarreta uma maior evaporação da água (GDF & Greentec, 2011). O resultado



é um déficit de água no solo entre os meses de maio e outubro e um superávit entre novembro e abril.

Como resultado, no início do período chuvoso, o solo está com a umidade abaixo de sua capacidade de campo, de forma que os primeiros dias de chuvas contribuem apenas para recuperar sua umidade. No entanto, durante todo o período chuvoso, a taxa de infiltração nos solos pode ser reduzida devido à alta concentração de chuvas, que pode levar à saturação do solo.

## **4.2 Áreas propícias à recarga de aquíferos e à urbanização**

Com base nessa caracterização da geomorfologia, pedologia e clima, foi possível mapear as áreas propícias à recarga de aquíferos e à urbanização no território do DF, utilizando técnicas de planejamento ecológico de sobreposição de informações cartográficas, que permitem visualizar a distribuição espacial de processos naturais e antrópicos e suas relações. Essa metodologia permite a tomada de decisão sobre alternativas de ocupação que articulem ações humanas e processos naturais, sendo que a dimensão espacial dada aos processos ecológicos oferece uma linguagem comum para interação entre planejamento urbano e ecologia (letão; Ahern, 2002).

De acordo com Ndubisi (2002), as principais abordagens de planejamento ecológico foram desenvolvidas na década de 1960 por Hills em 1961, Lewis em 1963 e McHarg em 1969. Essas abordagens envolvem: (i) o levantamento de características do meio físico que influenciam o fenômeno estudado; (ii) a organização dessas características em padrões espaciais; (iii) a valoração desses padrões de acordo com seu desempenho em relação ao fenômeno estudado; e (iv) o relacionamento desses valores com usos antrópicos.

A partir de 1980, os avanços no sensoriamento remoto e o desenvolvimento da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) permitiram a ampliação dessas metodologias. Nessa linha se destaca a abordagem desenvolvida por Crepani et al. (2001) para elaboração de cartas de vulnerabilidade/potencialidade de ocorrência de processos ecossistêmicos para orientar atividades de intervenção antrópica. A técnica classifica o grau de potencialidade por meio da atribuição de valores às características do meio físico de temas individuais. Esses valores recebem posteriormente um valor final, resultante de média aritmética dos valores individuais, onde, para cada tema, podem ser atribuídos pesos iguais ou diferentes a depender de sua importância para o tema.

Essa técnica foi adaptada ao estudo, com os dados do DF analisados no programa ArcGis, para resultar em mapas de sobreposição de padrões espaciais com características do meio físico semelhantes e com pesos atribuídos de acordo com sua aptidão para a recarga dos aquífero e urbanização. Sendo que, a distribuição pluviométrica e características climáticas que influenciam no conforto da população foram desconsideradas devido sua alta variabilidade temporal e distribuição razoavelmente equânime pelo território (Gonçalves, 2007).

Para a construção do mapa de recarga foram atribuídos valores para os cinco compartimentos geomorfológicos do DF de acordo com o potencial de recarga de cada

um, com base na altitude relativa e declividade, tendo em vista influência dessas características na taxa máxima de entrada da água no solo e no fluxo vertical e lateral das águas subterrâneas. Os valores variam de 1 a 5, sendo que 1 representa o menor e 5 o maior potencial para a recarga, conforme Tabela 4.1.

Compartimentação Geomorfológicas	Principais características	Potencial de Recarga	Valor
Rampas Íngremes	• Declividades superiores a 25%	Muito baixo	1
Vales Dissecados	• Declividades superiores a 20% • Baixo regional, com cotas altimétricas inferiores a 800m	Baixo	2
Rebordos	• Declividades entre 10% e 20%	Moderado	3
Planos Intermediários	• Declividades inferiores a 12% • Alto regional, com cotas altimétricas entre 950 e 1050m	Alto	4
Planos Elevados	• Declividades inferiores a 10% • Alto regional, com cotas altimétricas superiores a 1.100m	Muito alto	5

Tabela 4.1: Valoração quanto ao potencial de recarga das compartimentações geomorfológicas do DF  
Fonte: Própria autoria.

Para os tipos de solos foram atribuídos valores representativos do potencial de recarga com base em suas características hidrológicas, principalmente a condutividade hidráulica e espessura, tendo em vista a influência desses fatores na infiltração e na capacidade de armazenamento. Os valores atribuídos também variam de 1 a 5, sendo que 1 representa o menor potencial e 5 o maior, conforme Tabela 4.2.

Tipos de solos	Principais características	Potencial de Recarga	Valor
Neossolos Quartzarênicos	• Solos muito profundos (> 200cm) • Condutividade hidráulica próxima de $2,8 \times 10^{-4}$	Muito alto	5
Latossolos Vermelho e Vermelho - Amarelo	• Solos muito profundos (>200cm) • Condutividade hidráulica entre $1,7 \times 10^{-5}$ a $10^{-6}$ .	Alto	4
Argissolos vermelhos e Nitossolos vermelhos	• Solos profundos (entre 100 e 200cm) • Condutividade hidráulica entre $10^{-5}$ e $10^{-6}$ m/s	Moderado	3
Plintossolos Pétricos, Gleissolo Háptico e Neossolo Flúvico	• Solos pouco profundos (entre 50 e 100 cm) • Condutividade hidráulica entre $2,3 \times 10^{-6}$ a $1,4 \times 10^{-7}$	Baixo	2
Cambissolo Háptico e Neossolo Litólico	• Solos profundos a rasos (entre 0 e 200cm) • Condutividade hidráulica entre $10^{-7}$ e $10^{-8}$ m/s	Muito Baixo	1

Tabela 4.2: Valoração quanto ao potencial de recarga dos tipos de solo do DF  
Fonte: Própria autoria.

De posse desses valores, que variam de 1 a 5, se atribuiu duas variáveis, tipos de solos ( $Sr$ ) e compartimentações geomorfológicas ( $Gr$ ). Assim, o mapa de potencial de recarga dos aquíferos da pesquisa foi construído a partir do cruzamento dessas variáveis por meio de uma média ponderada, onde o peso dois atribuído aos tipos de solo ( $Sr$ ) se deve a importância desse domínio para o processo de recarga reconhecido na literatura (Lousada; Campos, 2005; Santos; Koide, 2016), utilizando a seguinte equação:

$$Pr = \frac{2Sr + Gr}{3} \quad (1)$$



Onde:

**Pr** =Potencial de recarga dos aquíferos

**Sr** =Valores de potencial de recarga atribuídos aos tipos dos solos

**Gr** =Valores de potencial de recarga atribuídos às compartimentações geomorfológicas

De posse dessa espacialização foi possível a classificação do potencial de recarga dos aquíferos do território em cinco grupos: (1) muito baixo (4,03% do território); (2) baixo, (23,92% do território); (3) moderado (10,60% do território); (4) alto (37,44% do território); (5) muito alto (22,02% do território). Sendo que as áreas onde é mais importante manter as características naturais do solo e padrões de ocupação que permitam e/ou auxiliem a entrada natural de água da chuva são as regiões de alto e muito alto potencial, que juntas correspondem a 59,45% do território, conforme especializado na Figura 4.3.

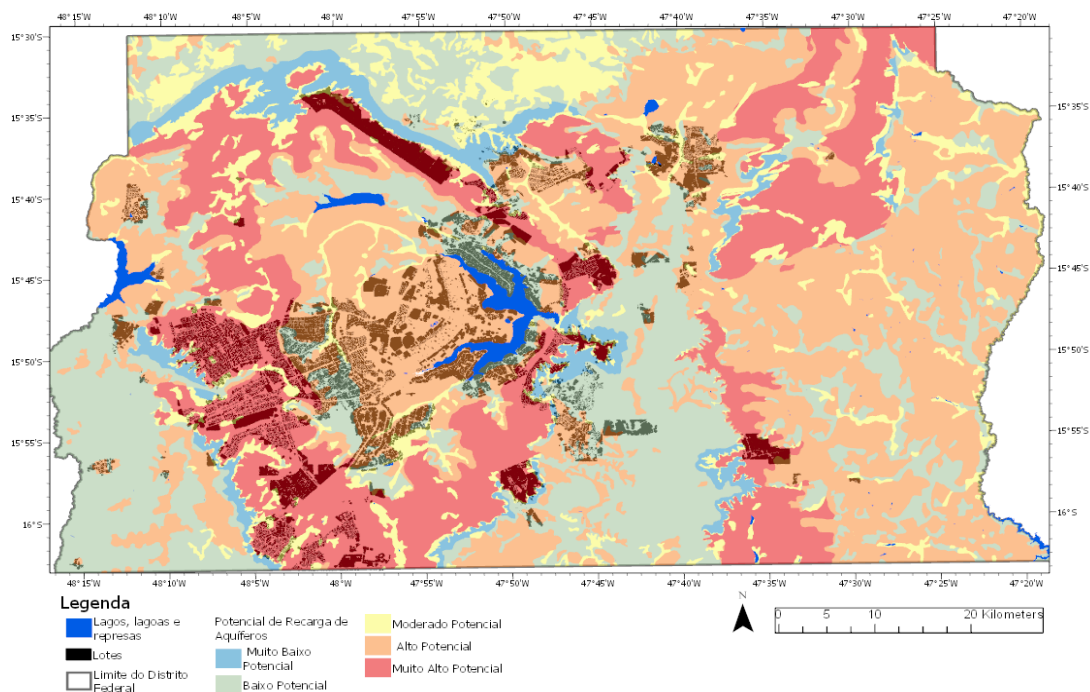


Figura 4.3: Mapa de potenciais de recarga do Distrito Federal

Fonte: Própria autoria

Para a construção do mapa de potencial de urbanização, aos compartimentos geomorfológicos foi atribuído uma variável representativa do potencial de urbanização com base na declividade, tendo em vista o impacto desse fator na possibilidade de mecanização e na possibilidade de ruptura e erosão do solo. As variáveis atribuídas variaram de 1 a 4, sendo que 1 representa o menor potencial e 4 o maior, conforme Tabela 4.3.

Compartimentações Geomorfológicas	Principais características	Potencial de urbanização	Valor
Rampas Íngremes	Declividades superiores a 25%	Baixo	1
Vales Dissecados	Declividades superiores a 20%	Moderado	2
Rebordos	Declividades entre 10% e 20%	Alto	3
Planos Intermediários e Plano Elevados	Declividades inferiores a 12%	Muito alto	4

Tabela 4.3: Valoração quanto ao potencial de urbanização das compartimentações geomorfológicas do DF

Fonte: Própria autoria.

Para os tipos de solos também foi definido uma variável representativa do potencial de urbanização com base em sua resistência a cargas, permeabilidade e coesão. As variáveis atribuídas também variam de 1 a 4, sendo que 1 representa o menor potencial e 4 o maior, conforme Tabela 4.4.

Tipos de solos	Principais características	Potencial de urbanização	Valor
Latossolos Vermelho e Vermelho- Amarelo	Solos porosos, bastantes permeáveis, pouco plásticos, boa resistência a cargas e processos erosivos	Muito alto	4
Plintossolo Pétrico	Solos pouco permeáveis, muito resistente as cargas e processos erosivos	Alto	3
Cambissolo Háplico, Nitossolo, Argissolo, Neossolos Quartzarênicos	Solos pouco à muito permeáveis, pouco resistentes e suscetíveis a erosão	Moderado	2
Gleissolo Háplico e Neossolo Flúvico	Solos pouco permeáveis, frequentemente encharcados, muito argilosos, muito plásticos e muito pouco resistentes	Baixo	1

Tabela 4.4: Valoração quanto ao potencial de urbanização dos tipos de solo DF

Fonte: Própria autoria.

De posse dos valores de 1 a 4 atribuídos às variáveis dos tipos de solos ( $Su$ ) e compartimentações geomorfológicas ( $Gu$ ), obteve-se uma média aritmética, em ambiente SIG, do nível de potencial de urbanização, utilizando a seguinte equação:

$$Pu = \frac{Su + Gu}{2} \quad (2)$$

Onde:

$Pu$  =Potencial de urbanização

$Su$  =Valores de potencial de urbanização atribuídos aos tipos dos solos

$Gu$  =Valores de potencial de urbanização atribuídos às compartimentações geomorfológicas

De acordo com os resultados, o território se divide em quatro grupos quanto ao seu potencial de urbanização: (1) baixo (4,46% do território); (2) moderado (19,75% do território); (3) alto (20,00% do território); (4) muito alto (55,79% do território). Os dados confirmam a semelhança entre as áreas propícias à recarga e à urbanização, uma vez que as áreas de muito alto potencial para a urbanização estão completamente sobrepostas às áreas de alto e muito alto potencial de recarga e ainda

se estendem sobre parte das áreas alto potencial à urbanização, conforme especializado na Figura 4.4.

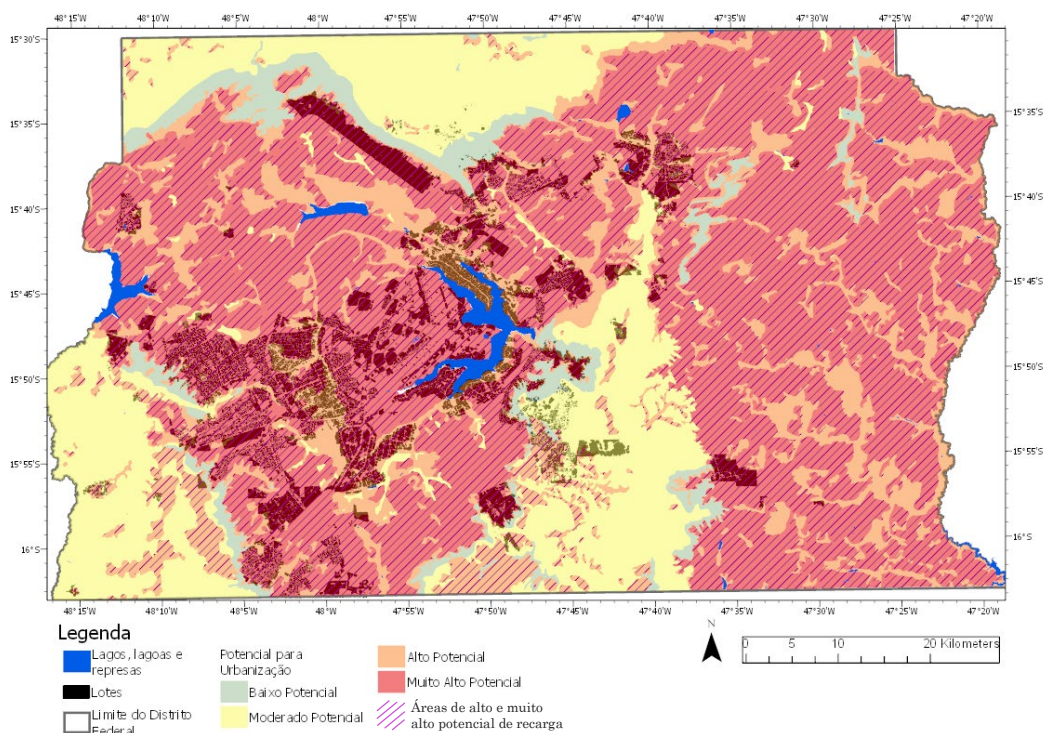


Figura 4.4: Mapa de potenciais de urbanização do Distrito Federal  
Fonte: Própria autoria

### 4.3 Alterações na cobertura do solo sobre áreas de recarga de aquíferos

Para compreender melhor a expansão e atual situação do processo de alteração das coberturas do solo no DF, foi analisada aqui, por meio de uma revisão temporal de imagens do território, a mudança de três categorias de cobertura do solo: (i) áreas urbanizadas; (ii) cobertura vegetal nativa e reflorestada; e (iii) outras áreas, como as com ocupações agropecuárias. O uso do solo foi agrupado nessas três classes devido ao diferente impacto, na escala macro do território, que cada uma possui para o processo de recarga. Nas áreas urbanizadas, como revisado, ocorrem amplamente fatores relacionadas com a perda de infiltração natural e poluição do subsolo. Quanto às áreas de vegetação nativa, o DF está inserido integralmente no domínio do bioma Cerrado, considerado muito importante para o equilíbrio da produção de água em escala local e nacional (Lima, 2011). Estudo feito por Oliveira et. al (2015) demonstra taxas de infiltração em áreas de cerrado de formação savânica, com 50 a 70% da área coberta por indivíduos arbóreos, de até 79% da chuva precipitada. As áreas de vegetação nativa foram agrupadas com as áreas reflorestadas, onde é esperado que os indivíduos arbóreos auxiliem no processo de recuperação de sua permeabilidade, aumentando a infiltração natural. Ainda, as áreas ocupadas com outros usos como

agropecuários, mineração e chácaras de recreio, cujo impacto na recarga não é objeto da pesquisa, foram agrupadas em uma única classe.

Para realizar a análise, foram utilizados dados: (i) do Sistema Informações Territoriais e Urbanas- SITURB, quanto as áreas urbanizadas dos anos 1964, 1975, 1986, 1991, 1997, 2004, 2009 e 2015 retiradas do shape "histórico das ocupações urbanas"; (ii) da Companhia de Planejamento do Distrito Federal – CODEPLAN, quanto a cobertura vegetal nativa e reflorestada dos anos 1984, 1986, 1991, 1997, 2004, 2009, 2015 e 2016 (Neves *et al.*, 2016); (iii) da Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura – Unesco, quanto à cobertura vegetal e urbana de 1953 (Veríssimo, 2002); e (iv) dados desenvolvidos pela autora, quanto a área urbanizada em 2016, a partir de uma revisão do levantamento de 2015 do SITURB com base em aerolevanteamento de 2016. Esses dados vetorizados e georreferenciados foram cruzados com o mapa de potencial de recarga de aquíferos para montar cenários temporais de alteração dessas coberturas, por meio do software ArcGIS, para os anos de: 1953, 1975, 1986, 1991, 1997, 2009 e 2016. Figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9.

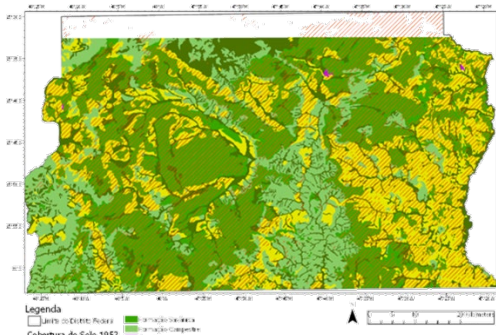


Figura 4.5: Mapa da cobertura do solo em 1953  
Fonte: Própria autoria

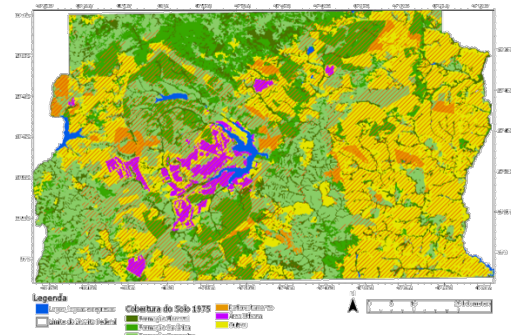


Figura 4.6: Mapa de Cobertura do solo em 1975.  
Fonte: Própria autoria

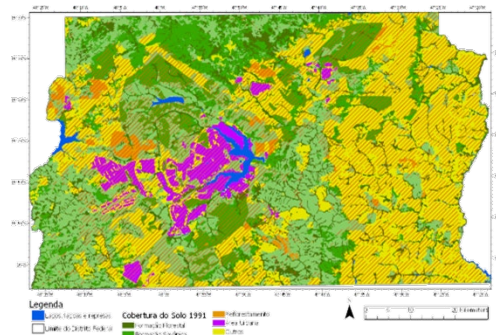


Figura 4.7: Mapa de Cobertura do solo em 1991  
Fonte: Própria autoria

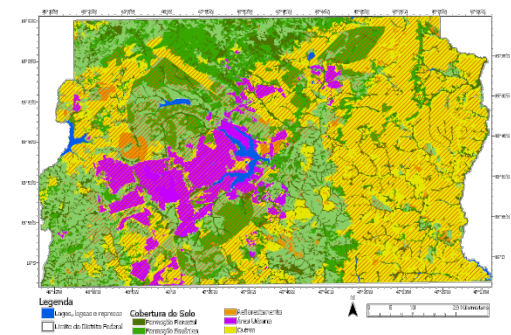


Figura 4.8: Mapa de Cobertura do solo em 2009  
Fonte: Própria autoria



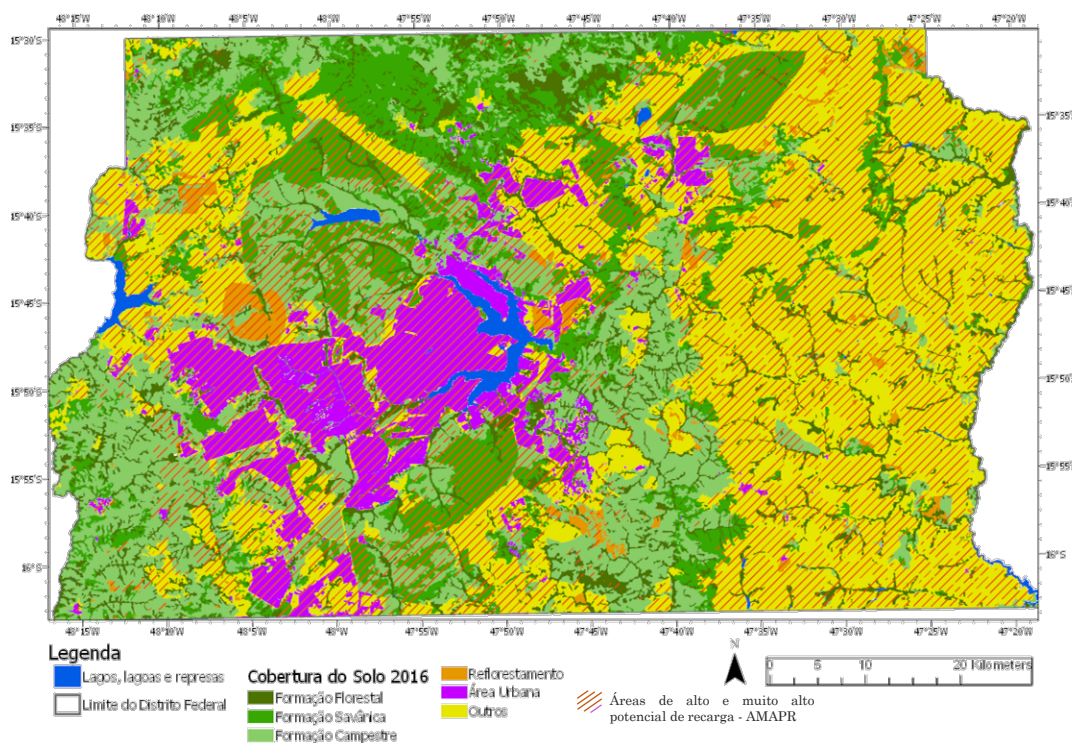


Figura 4.9: Mapa de Cobertura do solo em 2016

Fonte: Própria autoria

A partir do cruzamento desses dados, percebe-se que em 1953 apenas 259 ha do território estava urbanizado, crescendo 230 vezes até 2016, chegando a 59.733,86 ha. Da área urbanizada em 2016: 0,36% estava sobre áreas de muito baixo potencial de recarga; 14,12% estavam sobre áreas de baixo potencial de recarga; 4,25%, sobre áreas de moderado potencial de recarga; 49,36%, sobre áreas de alto potencial de recarga; e 31,88%, sobre áreas de muito alto potencial de recarga; somando um total de 81,24% das áreas urbanizadas sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga e 90,70% sobre áreas de muito alto e alto potencial de urbanização. Esses dados confirmam a premissa do estudo da tendência à ocupação urbana de áreas de recarga devido as semelhanças do meio físico que tornam essas áreas propícias a esses dois processos.

Quanto às áreas com cobertura vegetal nativa ou reflorestada, entre os anos de 1953 e 2016, percebe-se que 114.326,68 hectares de vegetação nativa foram desmatados, entre os quais 58.222,59 hectares foram sobre áreas de muito alto potencial de recarga e 44.504,41, sobre áreas de alto potencial de recarga. Ou seja, 90% de toda a cobertura vegetal nativa desmatada entre 1953 e 2016, ocorreu sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga. Das áreas de vegetação nativa e reflorestada remanescentes em 2016: 7,33% estavam sobre áreas de muito baixo potencial de recarga; 37,64% estavam sobre áreas de baixo potencial; 14,70%, sobre áreas de moderado potencial; 24,51%, sobre áreas de alto potencial; e 15,71%, sobre áreas de muito alto potencial; somando um total de 40,28% das áreas de

vegetação nativa e reflorestada ainda sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga. Figuras 4.10 e 4.11.

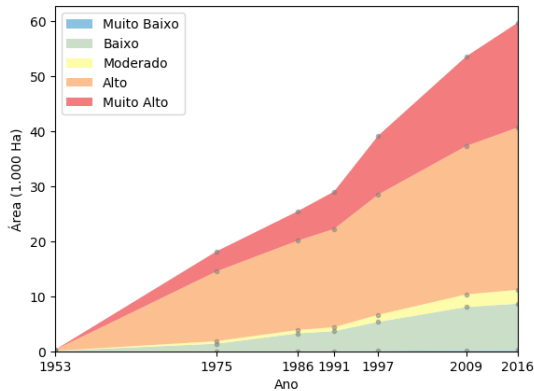


Figura 4.10: Crescimento das áreas urbanizadas em cada potencial de recarga dos aquíferos.  
Fonte: Própria autoria

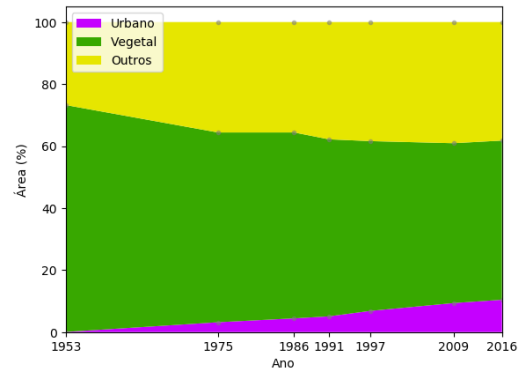


Figura 4.11: Mudança temporal na composição da cobertura do solo no Distrito Federal.  
Fonte: Própria autoria

Entre 1953 e 2016, o período de análise do estudo, a cobertura do solo do Distrito Federal passou para uma composição de 73,18% de cobertura vegetal nativa ou reflorestada, 0,04%, de cobertura urbana e 26,77%, de outras coberturas; para 51,34% de cobertura vegetal nativa ou reflorestada, 10,43%, de cobertura urbana e 38,23%, de outras coberturas. Em vista dessas alterações de cobertura do solo, em 2016, apenas 34,78% das áreas de alto e muito alto potencial de recarga dos aquíferos não haviam tido suas coberturas alteradas. Nesses 63 anos, 44,95% da área desmatada passou a ter uso urbano, enquanto 66,05%, outros usos. Entretanto, nesse período, o crescimento anual médio geométrico das "outras" coberturas foi de 0,67%; teve um crescimento negativo entre 2009 e 2016, enquanto o da cobertura urbana foi de 9,01%. Isso demonstra que, embora a maior parte das áreas de alto e muito alto potencial de recarga esteja ocupada atualmente por "outras" coberturas, as áreas urbanizadas exercem grande pressão sobre as áreas de recarga remanescentes, uma vez que essa cobertura continua aumentando com altas taxas.

Tendo isso em vista, para uma análise mais detalhada do processo de urbanização no território, foram cruzadas, por meio do software ArcGis, as informações dos zoneamentos dos Planos de Ordenamento Territorial do DF (PEOT/77, POUISO/86, PDOT/92, PDOT/97 e PDOT/09-12), com o mapa de potenciais de recarga de forma a verificar a relação das áreas onde está previsto processo de ocupação no planejamento oficial.

Para esse estudo o processo de ocupação urbana do território do DF foi dividido em quatro momentos. Um primeiro momento foi marcado por planos e estudos que com base no levantamento de condicionantes do meio físico, como clima e salubridade; facilidade de abastecimento de água e energia elétrica; facilidade de acesso às vias de transportes terrestres e aéreas; topografia adequada; solo favorável às edificações; proximidade de terras para agricultura; e paisagem atraente e que definiram a região da Bacia do Paranoá como ponto de ocupação inicial do território,

sendo ressaltada ao mesmo tempo a importância da preservação de sua cobertura vegetal devido a questões de disponibilidade hídrica. Os primeiros estudos dessa fase foram o Relatório Cruels, de 1895, e Relatório Belcher, de 1955, que apontaram o sítio na Bacia do Lago Paranoá, que se encontra no domínio geomorfológico do Plano Intermediário, com predominância de Latossolos, declividades inferiores a 12% e cotas altimétricas entre 950 e 1.050 metros, em uma área de alto potencial à recarga e muito alto potencial à urbanização, como mais adequado para ocupação.

A primeira área oficialmente ocupada decorre do plano urbanístico ganhador do "Concurso Nacional do Plano Piloto da Nova Capital do Brasil", de autoria de Lúcio Costa, que começou a ser implantado em 1957. O plano previa que outras cidades autônomas deveriam ser implantadas fora dos limites da Bacia do Paranoá, norteado pelo entendimento de que havia escassez dos recursos hídricos no território, o que era fundamental proteger a área para prevenir futuros problemas (Mancini, 2008; GDF, 2008). Na década de 1970, o Plano Diretor de Águas, Esgotos e Controle da Poluição (PLANIDRO) mantém a recomendação para a não ocupação dos espaços livres remanescentes na Bacia.

Já nessa época, além da área definida no plano de Lúcio Costa, foram criadas "cidades-satélites" para abrigarem os operários pioneiros e a população de invasões nas imediações dos canteiros de obras do Plano Piloto. Essas primeiras cidades planejadas foram implantadas em três regiões do território: (i) Fora da Bacia do Paranoá, marcando um eixo de expansão sudoeste, em uma região de Plano Elevado, com predominância de Latossolos e declividades inferiores a 10%, de muito alto potencial para urbanização e para recarga onde foram implantadas Taguatinga (1958), Gama (1960) e Ceilândia (1971); (ii) Na área nordeste, em uma região de Plano Intermediário e inserido no sítio verde, selecionado pelo Relatório Belcher, na estrada que levava para Planaltina, foi implantado Sobradinho (1960), núcleo urbano, pensado à época como centro de apoio às áreas rurais próximas; (iii) e dentro da Bacia do Paranoá, sítio castanho do relatório Belcher, surgiram as cidades do Núcleo Bandeirante (1956), Candangolândia (1956), Cruzeiro (1958) e Guará (1967) e do outro lado, surgem áreas de habitação unifamiliar pensadas como alternativa de moradia aos prédios do centro e como de menor impacto ao meio ambiente no Lago Sul (1958), Park Way (1961) e Lago Norte (1974) (GDF, 2008).

Ainda, as cidades preexistentes de Planaltina (do eixo nordeste) e Brazlândia (eixo oeste), que se encontram em áreas de Plano Intermediário em áreas de alto potencial para recarga e para urbanização, foram logo na criação do DF incorporadas ao seu conjunto urbanístico. Além dessas áreas planejadas ou anteriores à criação do DF, alguns pequenos núcleos informais à época não foram destituídos e hoje estão consolidados: o Paranoá (1957) que surgiu à beira da construção da represa do Lago Paranoá ao Leste; São Sebastião (1958) que surgiu próximo as olarias, hoje já desativadas, a Leste; a Fercal (1961) que surgiu próxima a indústrias de cimento ao norte do território; o Varjão (1975) que surgiu em área desocupada próximo ao Lago Norte; e a Estrutural (1975) que surgiu em área próxima ao aterro de lixo da cidade, devido à atividade dos catadores de Lixo; essas áreas não planejadas, em geral, encontram-se em áreas de maior sensibilidade ambiental.

Uma segunda fase da ocupação do território foi marcada pelo reconhecimento do eixo sudoeste como eixo prioritário de expansão com base em condições da infraestrutura e do meio físico e da identificação de áreas para adensamento da Bacia do Paranoá, em oposição às diretrizes dos planos e estudos anteriores. Em 1977, o Plano Estrutural de Ordenamento Territorial (PEOT) definido pelo Decreto 4.049/78, indicou o eixo sudoeste (Taguatinga-Ceilândia-Gama) como o mais adequado para o crescimento urbano nesses termos (GDF, 2008). As áreas propostas para localização dos futuros núcleos urbanos desse quadrante estão sob o domínio geomorfológico do Plano Elevado, em áreas com predominância de Latossolos e declividades inferiores a 10%, com muito alto potencial de recarga dos aquíferos e de urbanização. Em 1987, o relatório Brasília Revisitada (Decreto Distrital nº 0.829/87) propôs o adensamento da Bacia do Paranoá a partir de seis novas áreas habitacionais (GDF, 2008).

Essas áreas de expansão do PEOT/77 e Brasília Revisitada/87 foram endossadas pelo Plano de Uso e Ocupação do Solo (POUSO), homologado em 1990 pelo Decreto nº 12.898/1990. Nesse período, já foram implantados vários núcleos urbanos no eixo de expansão sudoeste: Samambaia (1985), Santa Maria (1991), Recanto das Emas (1993) e Riacho Fundo (1990) (GDF, 2008). Surgiu, também, nessa época uma expansão de áreas não planejadas no quadrante leste, na Bacia do São Bartolomeu, no quadrante nordeste, em direção a Sobradinho e Planaltina; e nas áreas intersticiais da Bacia do Paranoá entre Plano Piloto e Taguatinga, fora das áreas previstas pelo Brasília Revisitada. A sobreposição das zonas urbanas definidas no POUSO/90 e áreas urbanizadas à época com o mapa de potenciais de recarga da pesquisa mostra que 71,86% da macrozona urbana definida ainda não estava urbanizada à época e que 69,20% dessa área, ainda não urbanizada, estava sobreposta a áreas de alto e muito alto potencial de recarga. Figuras 4.12 e 4.13.

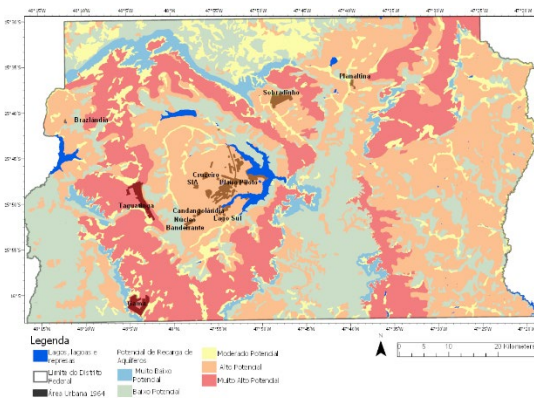


Figura 4.12: Mapa da área urbanizada em 1964 e dos potenciais de recarga de aquíferos  
Fonte: Própria autoria

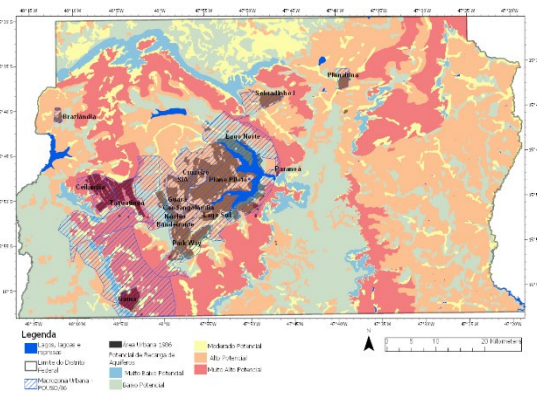


Figura 4.13: Mapa da Macrozona urbana do POUSO/1986, potenciais de recarga dos aquíferos e área urbanizada em 1986  
Fonte: Própria autoria

Na fase seguinte de ocupação são mantidas as definições anteriores e o novo Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) de 1992, aprovado pela Lei nº 353/1992, estabelece nova zona de expansão na região sul do território a leste de Santa Maria. O próximo Plano, o PDOT/97, aprovado pela Lei Complementar nº 17/1997, ratificou essa zona de expansão e reconheceu oficialmente os vetores de crescimento norte e



leste, devido às pressões das populações que ocupavam a expansão conformada pelas ocupações irregulares; esse reconhecimento como zona urbana acabou influenciando ainda mais o crescimento para esses quadrantes. Esses planos aumentaram continuamente a área da macrozona urbana; o percentual de áreas a serem urbanizadas dentro da macrozona do PDOT/97 à época era de 63,30%, do qual, 75,48% estavam sobrepostas a áreas de alto e muito alto potencial de recarga. Figuras 4.14 e 4.15.

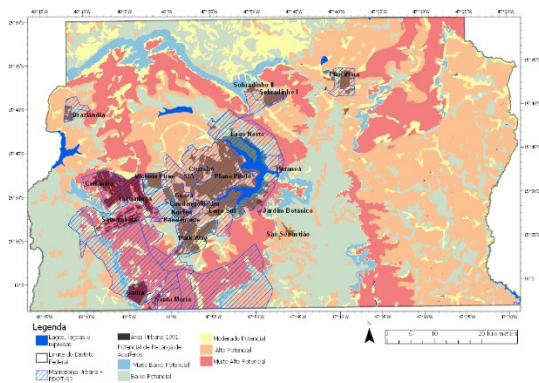


Figura 4.14: Mapa da Macrozona urbana do PDOT/1992, potenciais de recarga dos aquíferos e área urbanizada em 1991  
Fonte: Própria autoria

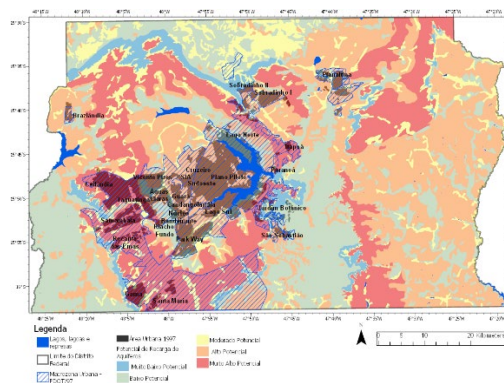


Figura 4.15: Mapa da Macrozona urbana do PDOT/1997, potenciais de recarga dos aquíferos e área urbanizada em 1997  
Fonte: Própria autoria

No início da década de 1990, surgiram os núcleos urbanos do Sudoeste e Octogonal (1993), Águas Claras (1997) e Riacho Fundo II (1994) na Bacia do Paranoá. E os parcelamentos irregulares continuaram a se expandir. Entre 1985 e 1995, foram contabilizados 529 novos parcelamentos na APA do Rio São Bartolomeu (GDF, 2008). Observou-se, também, aumento da ocupação em vazios intersticiais, como Arniqueiras e Vicente Pires, e áreas de proteção ambiental, como a Região do Sol Nascente e condomínios na área de Ponte de Terra, próximo ao Gama. Nessa época, consolidou-se a ocupação do Itapoã e iniciou-se a ocupação de áreas próximas à cidade do Paranoá e à Região do Taquari, na Bacia do Paranoá.

O PDOT/09, aprovado pela Lei Complementar nº 803/2009 e alterado pela Lei Complementar nº 854/2012, diminui pela primeira vez a macrozona urbana em relação ao plano anterior, procurando ajustá-la às ocupações existentes e expandindo ainda mais a zona urbana na direção do eixo Leste e modificando a área de expansão urbana determinada no PDOT/92-97 do quadrante sul para o sudeste. A redução da macrozona urbana e deslocamento da zona de expansão tiveram um impacto positivo sobre o total de zonas de expansão urbana sobrepostos a áreas de alto e muito alto potencial de recarga, diminuindo 17.085,84ha sobrepostos a áreas de recarga em relação ao plano anterior. Em 2016, a área não urbanizada correspondia a 49,83% da macrozona, da qual, 58,26% (18.097,43ha) encontra-se sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga. Caso essa área seja urbanizada e as “outras” coberturas não se expandam, mais 36.117,80ha de cobertura vegetal nativa e reflorestada seriam desmatadas; e mais 5,19% das áreas de alto e muito alto potencial de recarga teriam sua cobertura urbanizada, restando no total apenas

29,53% das áreas de recarga preservadas com cobertura vegetal nativa e reflorestada. Figura 4.16.

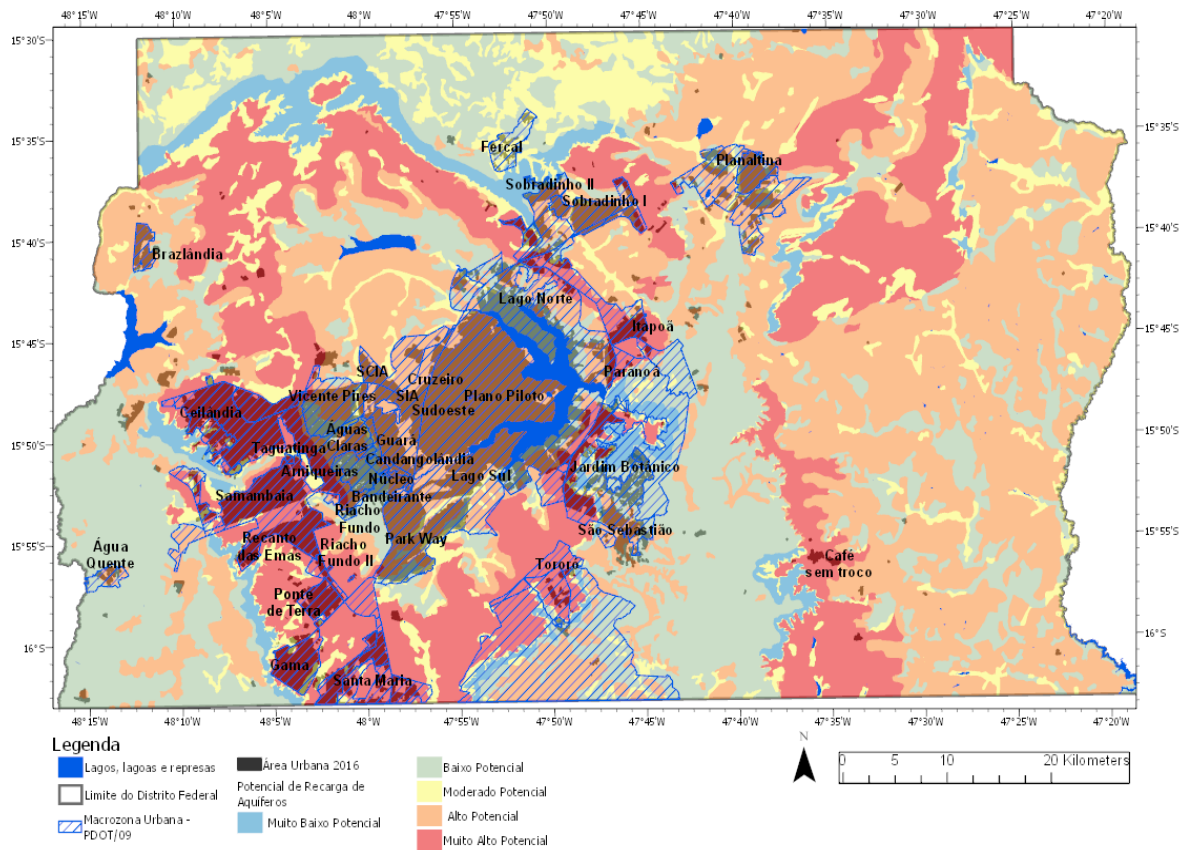


Figura 4.16: Mapa da Macrozona urbana do PDOT/2009, potenciais de recarga dos aquíferos e área urbanizada em 2016.

Fonte: Própria autoria

Percebe-se pela análise do breve histórico de ocupação do DF que, apesar de alguns dos Planos citados apontarem, no âmbito do discurso, a necessidade de limitar a ocupação urbana em áreas de recarga dos aquíferos, isso não aconteceu na prática, pois a espacialização do processo da recarga nunca foi realizada no âmbito dos planos, para subsidiar a tomada de decisão sobre as áreas de expansão urbana. O documento técnico do PDOT/2009 aponta de forma taxativa que apesar de controlar a impermeabilização do solo de modo a manter a capacidade de recarga dos aquíferos, ser objetivo de vários planos, não há a integração entre os estudos hidrogeológicos e de controle da expansão sobre áreas de recarga (GDF, 2008).

As altas taxas de urbanização e definição de zonas de expansão sobre as áreas de recarga devem-se, principalmente, às semelhanças dos fatores do meio físico entre as áreas propícias à recarga e à urbanização, o que dificulta a não ocupação dessas áreas. Entretanto, a ocupação de áreas classificadas como de alto e médio potencial à urbanização, que não se sobrepõem às áreas de recarga é tecnicamente possível, principalmente para ocupações de menor densidade e adotadas medidas de



natural dos aquíferos. Com tal, é necessário ter especial atenção às repostas hidrológicas da ocupação urbana local, principalmente quanto à infiltração natural da água da chuva. Esses foram os fundamentos para a seleção da UH do Lago Paranoá. Figura 4.18.

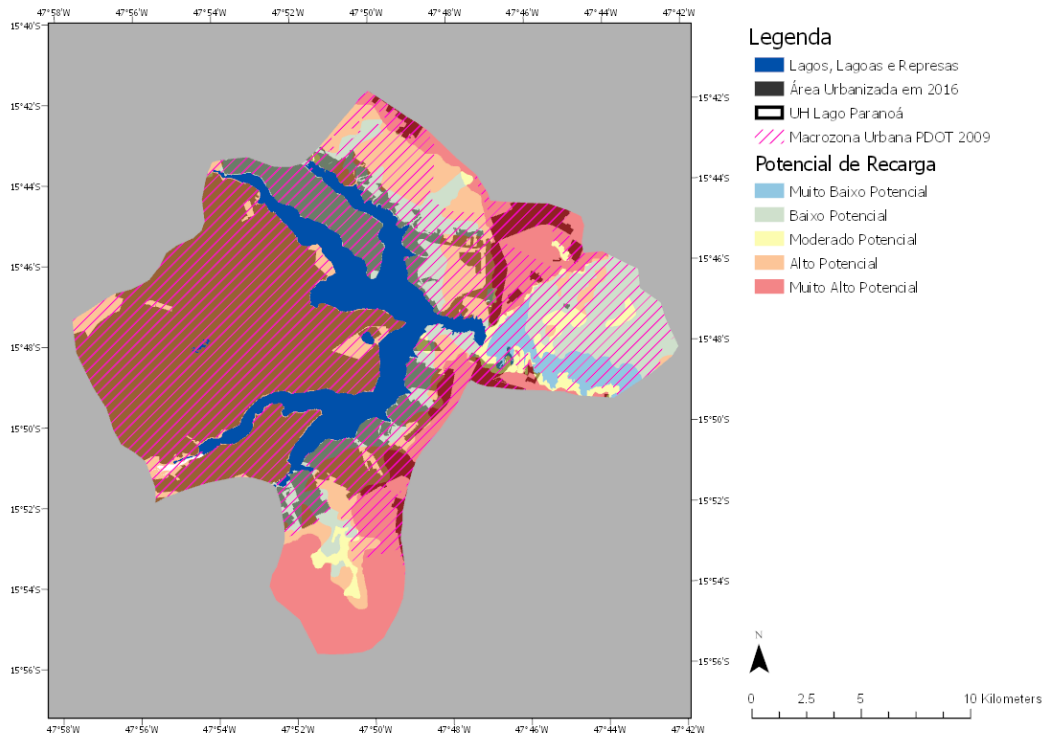


Figura 4.18: Área urbanizada e Macrozona Urbana do PDOT/09 sobre os potenciais de recarga na UH Lago Paranoá em 2016.

Fonte: Própria autoria

Para identificar as tipologias de ocupação e aferir as características descritas no quadro metodológico nas áreas urbanizadas da UH Paranoá foram utilizados dados cadastrais disponíveis no Sistema de Informações Territoriais e Urbanas do DF – SITURB e técnicas de processamento de imagem por meio de classificação supervisionada, com base em imagem de aerofotogrametria de 2016 com resolução de 20cm, em software de Sistemas de Informações Georreferenciadas – SIG.

A área urbanizada foi delimitada por meio de dados cadastrais do SITURB que monitoram a evolução da mancha urbana, que leva em consideração apenas as áreas construídas, atualizados manualmente pela mesma imagem de 2016. Nessa área ainda foram desconsiderados os remanescentes de vegetação nativa, sendo avaliado somente áreas que tiveram a cobertura do solo alterada. Dentro dessa área urbanizada remanescente foram identificadas visualmente 18 tipologias de ocupação urbana com base em algumas das características do quadro metodológico de mais fácil visualização: layout do sistema viário, tamanho médio dos lotes, taxa de ocupação dos lotes e proporção de áreas públicas livres. Figura 4.19.





Figura 4.19: Localização das tipologias de ocupação urbana identificadas na UH do Lago Paranoá. Fonte: Própria autoria.

Em cada uma das tipologias identificadas a cobertura do solo foi classificada nas seguintes categorias para aferir as características do quadro metodológico: (i) sistema viário, englobando todas as pistas e estacionamentos pavimentados em áreas públicas, de acordo com dados cadastrais do SITURB; (ii) áreas gramadas e solo exposto, de acordo com classificação de “supervisionada” da imagem de 2016, que foram agrupadas e consideradas como superfícies que em áreas urbanas normalmente levam à baixas taxas de infiltração, devido a associação com compactação do solo e menor estruturação de suas camadas superficiais devido sistemas radiculares, insetos e micróbios; (iii) áreas pavimentadas, como calçadas, ciclovias, pátios, praças e acessos pavimentados à estacionamentos privativos, de acordo com classificação de “supervisionada” da imagem de 2016; (iv) áreas construídas, de acordo com dados cadastrais do SITURB e (v) áreas com cobertura vegetal de porte arbóreo, representadas pela área da copa visível na imagem de 2016 analisada, conforme demonstrado na Figura 4.20.

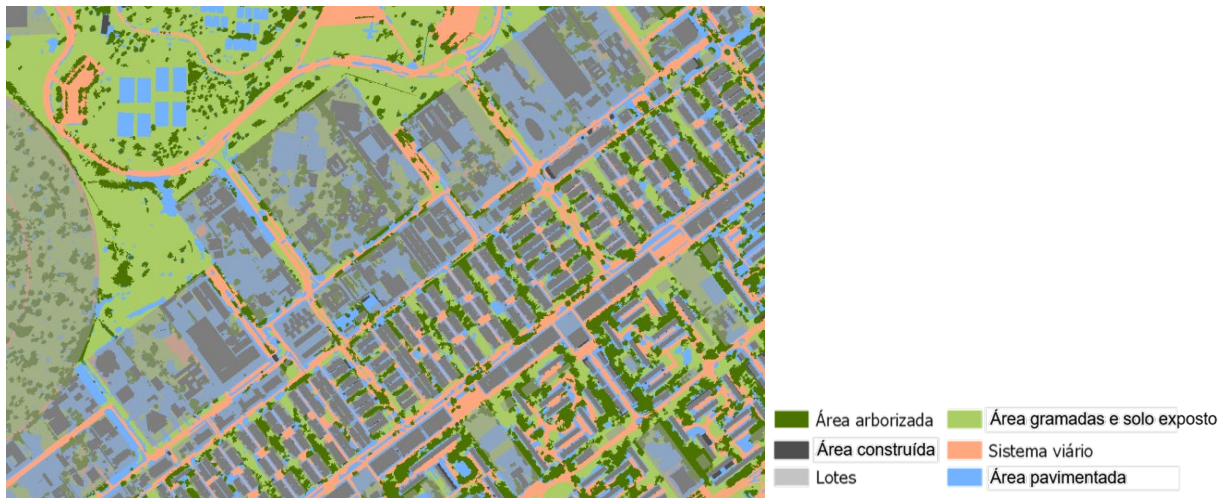


Figura 4.20: Detalhe da classificação da cobertura do solo na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá.

Fonte: Própria autoria.

Para analisar o impacto per capita da forma urbana, a densidade populacional urbana<sup>6</sup> foi calculada a partir de dados de população extraídos do Censo 2010, devido a menor escala dos setores censitários, o que possibilitou sua compatibilização com as áreas das tipologias identificadas, por meio de técnicas de interpolação.

Com base no resultado desta classificação as tipologias identificadas foram agrupadas em 5 zonas de densidade construtiva similar: (i) muito alta, quando acima de 70% de superfícies impermeáveis; (ii) alta, quando entre 55 e 70%; (iii) média, quando entre 40 e 55%; (iv) baixa, quando entre 25 e 40%; e (v) muito baixa, quando abaixo de 25%.

As Figuras 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 e 4.25, a seguir, mostram cada uma das tipologias agrupadas nas respectivas zonas de densidade construtiva, assim como sua síntese dos critérios avaliados: (i) percentual total de áreas seladas, que englobam as áreas construídas, pavimentadas e do sistema viário; (ii) área selada por habitante, sendo que as áreas que não possuem uso residencial foram marcadas comum (\*) e áreas que ainda não possuíam população na data da última pesquisa do censo com (\*\*); e (iii) percentual de áreas potencialmente compactadas, formada pelas áreas urbanizadas gramada e com solo exposto; (iv) e percentual de áreas arborizadas.

<sup>6</sup>A densidade populacional urbana diferentemente da densidade demográfica, considera apenas a área urbanizada enquanto a densidade demográfica normalmente considera os limites administrativos de determinada área.

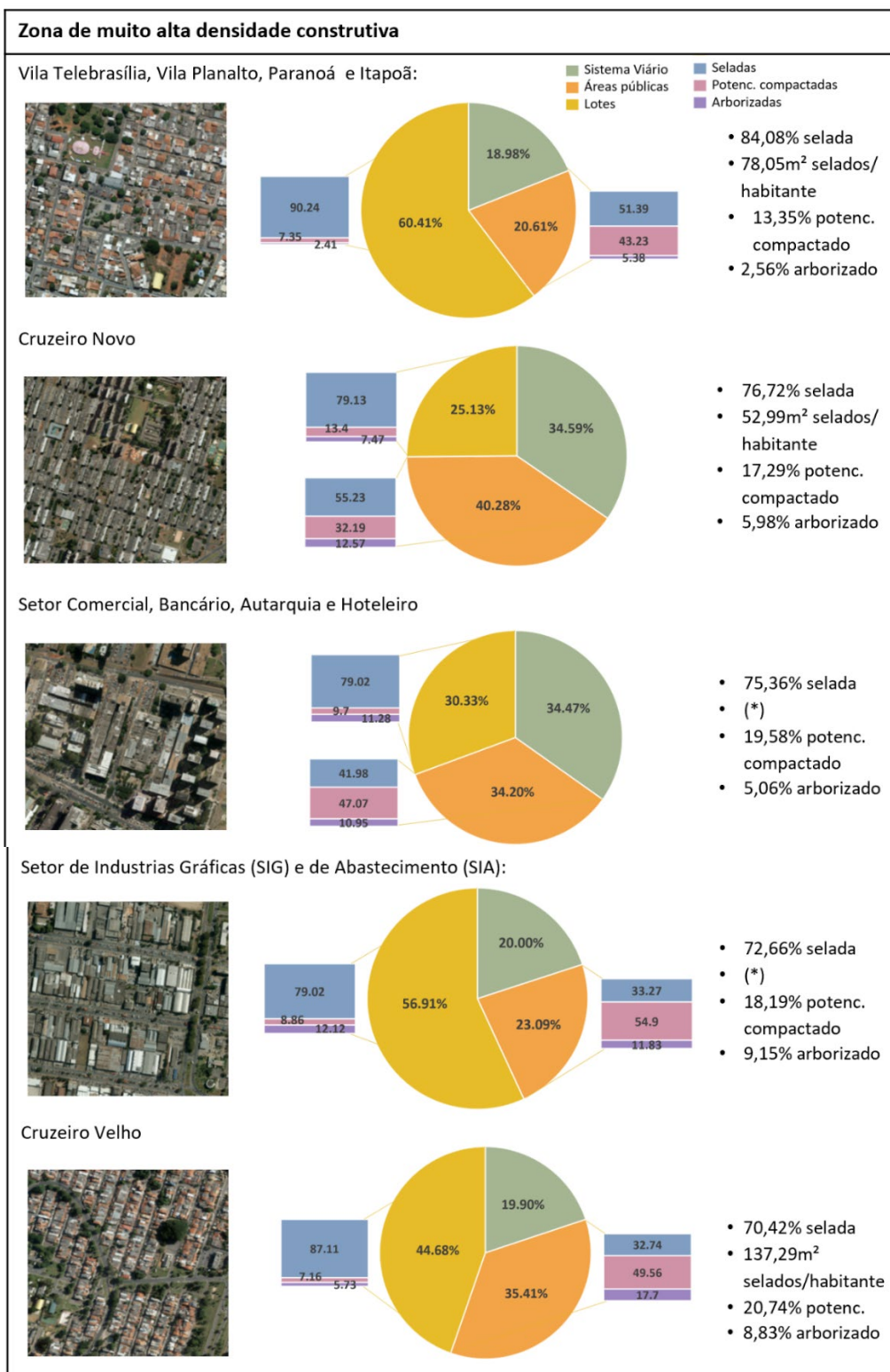


Figura 4.21: Síntese das tipologias agrupadas como muito alta densidade construtiva na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá.  
Fonte: Própria autoria.

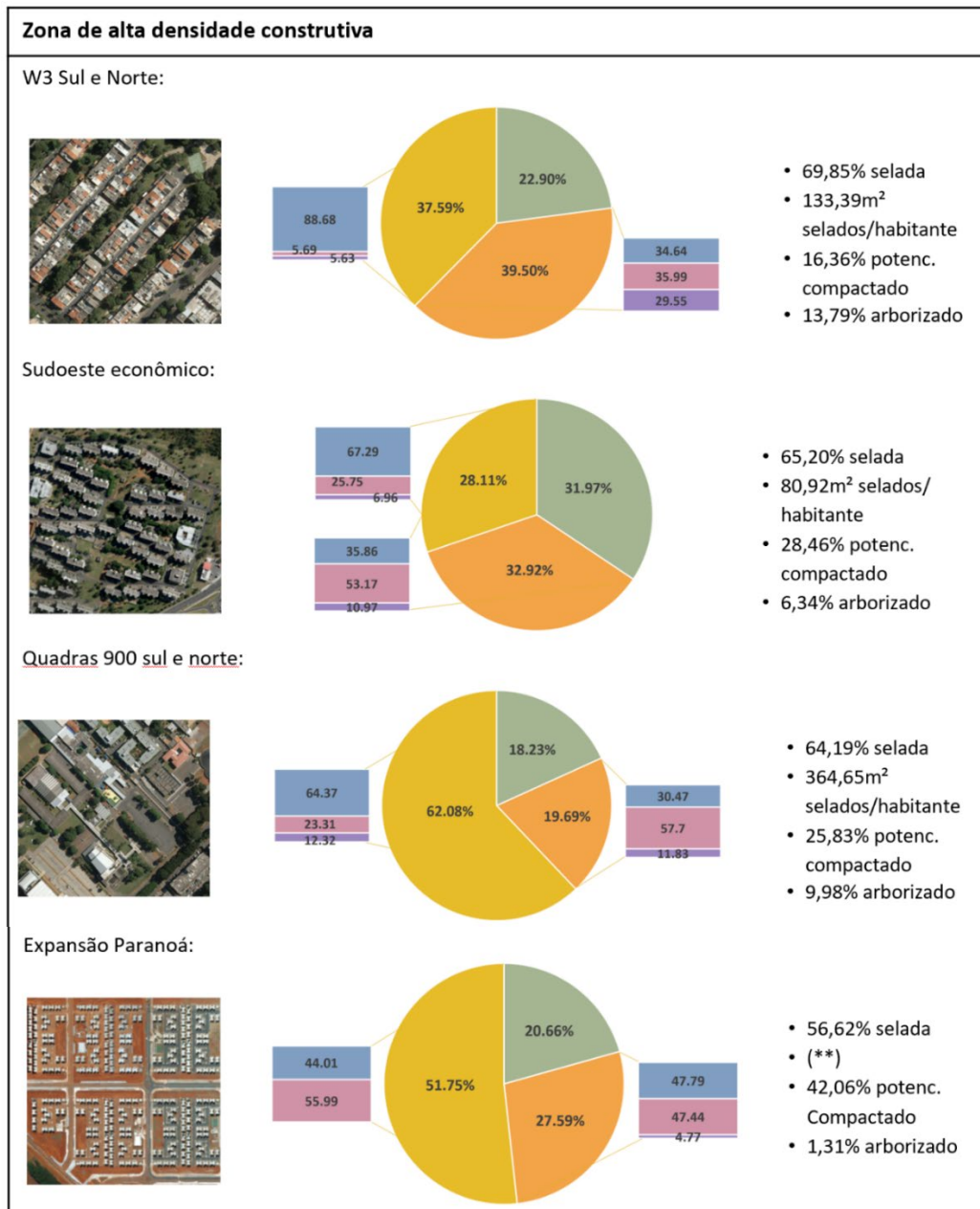


Figura 4.22: Síntese das tipologias agrupadas como alta densidade construtiva na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá.

Fonte: Própria autoria.



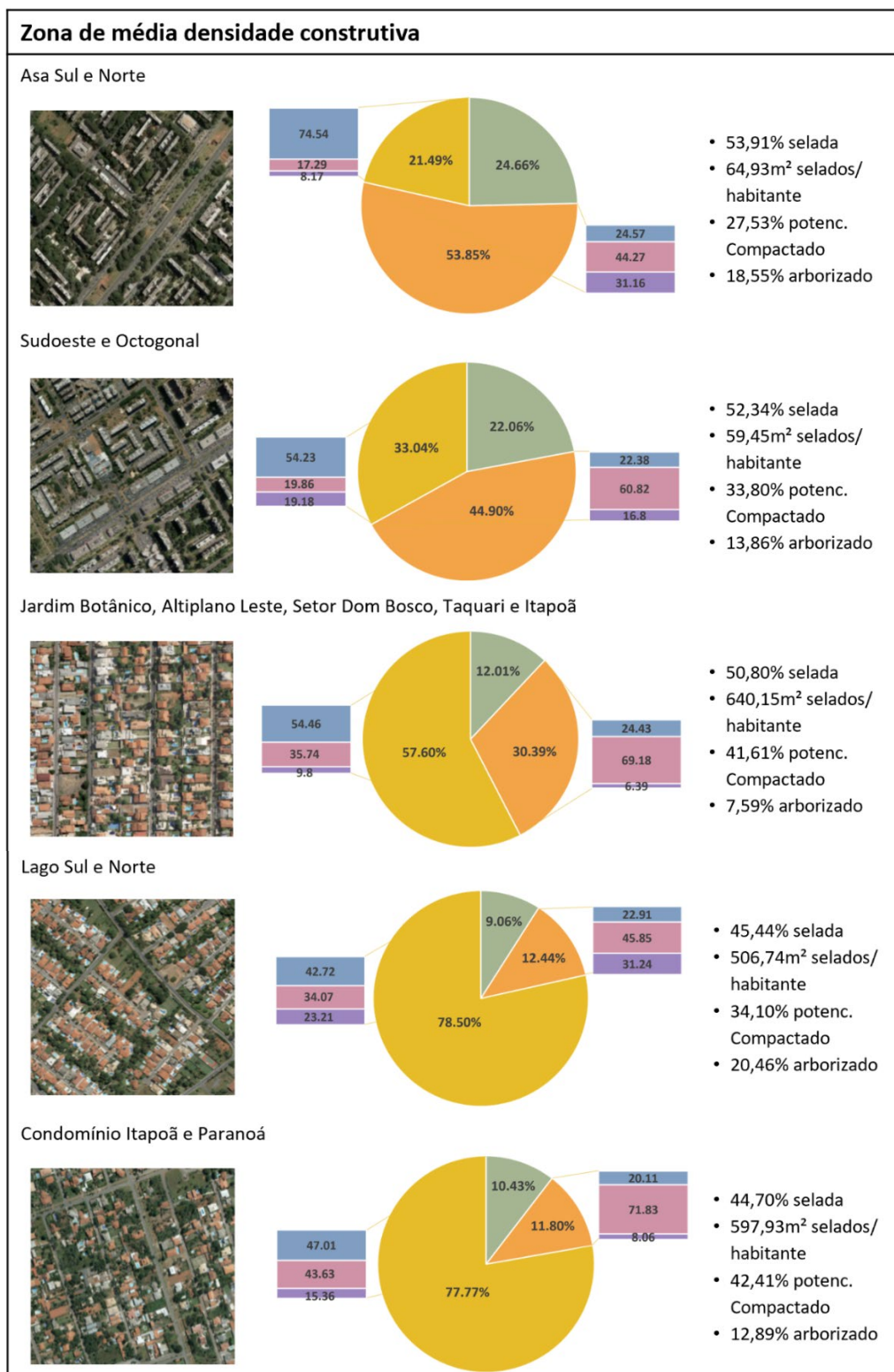


Figura 4.23: Síntese das tipologias agrupadas como média densidade construtiva na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá.  
 Fonte: Própria autoria.

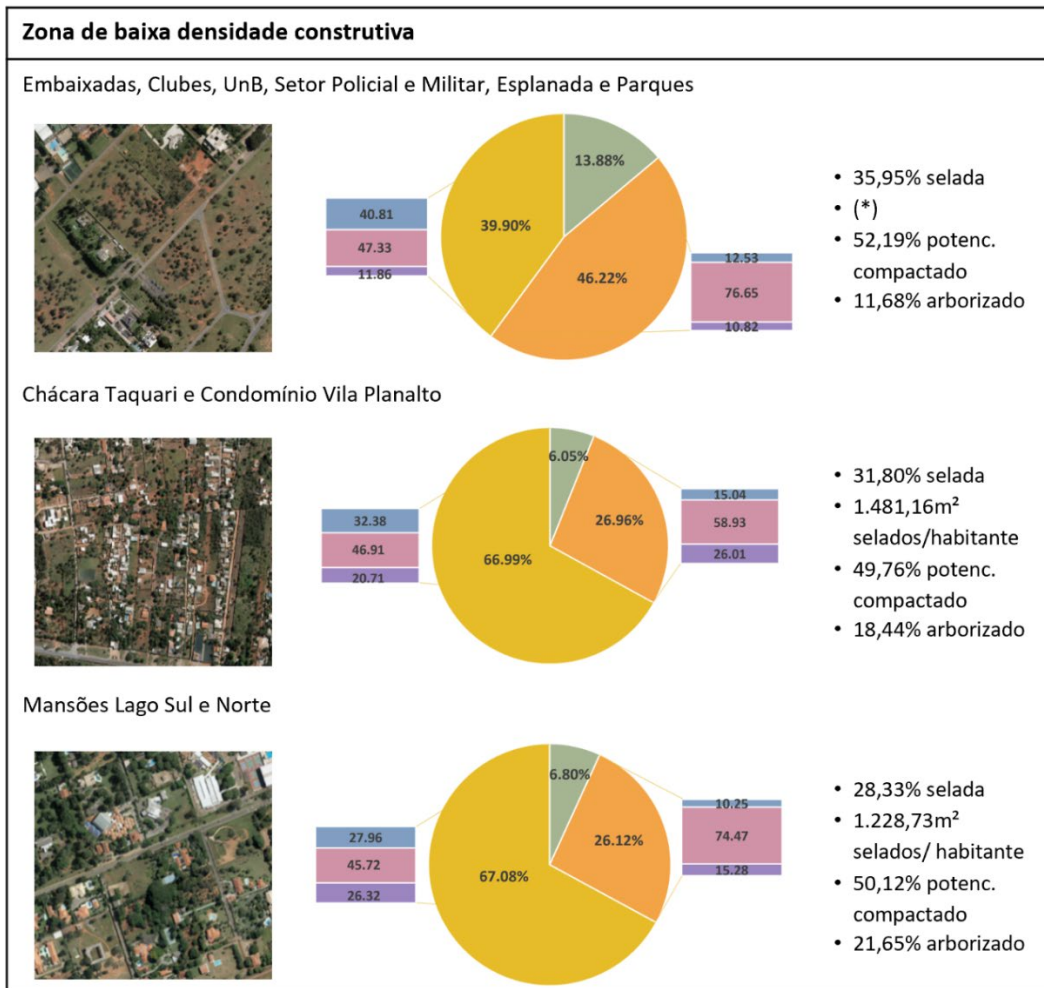


Figura 4.24: Síntese das tipologias agrupadas como baixa densidade construtiva na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá.  
 Fonte: Própria autoria.

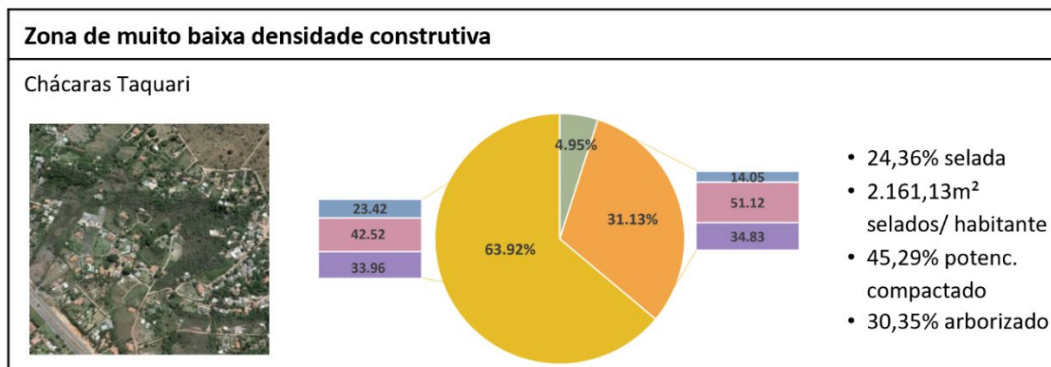


Figura 4.25: Síntese das tipologias agrupadas como muito baixa densidade construtiva na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá.  
 Fonte: Própria autoria.

A análise das tipologias leva a considerar que o manejo do solo utilizado durante o processo de urbanização na sub-bacia é o convencional, que desconsidera técnicas de perturbação mínima do solo, desmatando e fazendo movimentação de terra em toda a área do parcelamento, o que leva a conseqüente compactação do solo, podendo reduzir a capacidade de infiltração em média entre 6 a 11 vezes a depender do tipo de solo. Essa premissa decorre da observação do processo de implantação de duas áreas que estavam sendo urbanizadas na UH do Lago Paranoá em 2016, o Noroeste e o a Expansão do Paranoá, conforme demonstrado na Figura 4.26.



Figura 4.26: Áreas em urbanização em 2016 na sub-bacia do Lago Paranoá, comparadas com a cobertura do solo antes do processo de urbanização em 2008.

Fonte: Própria autoria.

Outro aspecto observado se refere as baixas taxas de arborização das áreas livres em toda a área da sub-bacia, o que faz presumir que as áreas livres, onde predominam os gramados, se encontram potencialmente compactadas, ou seja, com a porosidade do solo reduzida e conseqüentemente com redução considerável de suas taxas de infiltração, devendo adotar as diretrizes de mitigação revisadas nesse trabalho.

Ainda a partir das características sínteses, as 18 tipologias foram analisadas considerando seu impacto pela área ocupada e área ocupada por habitante. O impacto da área ocupada foi analisado somando os percentuais de áreas seladas e áreas compactadas tendo em conta que são aqueles que maiores alterações geram para a recarga dentro da área de cada tipologia. Já o impacto per capita de cada tipologia foi analisado pela área selada e compactada dividida pelo número de habitantes da tipologia como descrito na Tabela 4.5.

Tipologia de ocupação urbana	% de área ocupada	% do total de áreas seladas	Largura das ruas de acesso e serviço	Área por hab.	Conexão com o sistema de drenagem	Tipo de Layout	Tamanho das quadras
<b>Zona de muito alta densidade construtiva</b>							
V. Telebrasília e Planalto, Paranoá e Itapoã	18,98%	22.57%	≅ 7m - 2 sentidos	18,46	sim	quadrícula	pequeno
Cruzeiro Novo	34,59%	45.09%	≅20m - 2 sentidos	23,89	sim	quadrícula	Muito pequeno
S. Comerc., Banc., Autarq. e Hotel.	34,47%	45.74%	≅15m - 1 sentido	(*)	sim	quadrícula	médio
SIG e SAI	20,00%	27.53%	≅30m - 2 sentidos	(*)	sim	quadrícula	muito grande
Cruzeiro Velho	19,90%	28.26%	≅6,5m - 2 sentidos	38,80	sim	quadrícula	pequeno
<b>Zona de alta densidade construtiva</b>							
W3 Sul e Norte	22,90%	32.78%	≅16m - 2 sentidos	87,73	sim	quadrícula	médio
Sudoeste Econômico	31,97%	49.03%	≅15m - 2 sentidos	39,68	sim	quadrícula	Muito pequeno
Quadra 900 sul e norte	18,23%	28.40%	≅20m - 2 sentidos	103,56	sim	quadrícula	grande
Expansão Paranoá	20,66%	36.49%	≅17m - 2 sentidos	(**)	sim	quadrícula	Muito pequeno
<b>Zona de média densidade construtiva</b>							
Asa Sul e Norte	24,66%	45.74%	≅12m - 2 sentidos	29,70	sim	quadrícula	pequeno
Sudoeste e Octogonal	22,06%	42.15%	≅10m - 2 sentidos	25,22	sim	quadrícula	pequeno
J. Botânico, Altiplano L., S. Dom Bosco, Taquari e Itapoã	12,01%	23.64%	≅6,5m - 2 sentidos	151,34	sim	quadrícula	médio
Lago Sul e Lago Norte	9,06%	19.94%	≅10m - 2 sentidos	101,02	sim	curvilínea	grande
Condomínios Itapoã e Paranoá	10,43%	23.33%	≅9m - 2 sentidos	139,54	sim	quadrícula	grande
<b>Zona de baixa densidade construtiva</b>							
Emb., Clubes, UnB, S. Policial e Militar, Esp. e Parq.	13,88%	38.61%	≅7m - 2 sentidos	(*)	sim	quadrícula	muito grande
Chácaras Taquari e Condomínio Vila Planalto	6,05%	19.03%	≅7m - 2 sentidos	281,99	não	curvilínea	grande
Mansões Lago Sul e Norte	6,80%	24.00%	≅10m - 2 sentidos	295,83	sim	curvilínea	Muito grande
<b>Zona de muito baixa densidade construtiva 5</b>							
Chácaras Taquari	4,95%	20.32%	≅6m - 2 sentidos	439,17	não	curvilínea	Muito grande

Tabela 4.5: Análise do Sistema Viário nas tipologias da sub-bacia do Lago Paranoá de acordo com o quadro metodológico desenvolvido.

Fonte: Própria autoria.

A tipologia que apresenta melhor compatibilidade entre ocupação urbana e a função de recarga de aquíferos foi a de “muita baixa densidade” presente na região de chácaras do Taquari, com 69,65% de áreas seladas e/ou potencialmente compactadas. Essa zona ainda é uma zona de transição entre o rural e urbano comum a densidade populacional de 0,99 hab/ha e grandes terrenos, de em média 2.672,36m<sup>2</sup>, e baixas taxas de ocupação, de em média 14,16%. Entretanto, é uma área de expansão macrozona urbana, e se deve considerar as diretrizes definidas para a consolidação de sua urbanização, principalmente considerando o já alto grau de urbanização da sub-bacia.

As próximas tipologias com melhores desempenhos são, em ordem: Mansões do Lago Sul e Norte (21,65% florestada) classificada como baixa densidade construtiva e Lago Sul e Norte (20,46% florestada) e Asa Sul e Norte (18,55% florestada), classificados como média densidade construtiva. Aqui é interessante notar que apesar de possuírem valores diferentes de percentual de áreas seladas, que variam de 28,33%, 45,44% até 53,91%, elas apresentarem valores semelhantes de áreas florestadas, o que demonstra que elas possuem outras características relacionadas com seu desenho urbano que tornam seu impacto sobre o regime hidrológico e consequentemente as estratégias de intervenção necessárias para mitigar esse impacto devem ser diferentes.

Por exemplo, na Asa Sul e Norte, o total de 53,91% de áreas seladas se distribui em: 45,74% do sistema viário; 24,49% das demais áreas pavimentadas; e 29,78% de construções. Enquanto no Lago Sul e Norte, o total de 45,44% se distribui respectivamente entre as tipologias referidas em: 19,94%, 40,59% e 39,47%. E nas Mansões do Lago Sul e Norte o total de 28,33% se distribui respectivamente em: 24,00%, 49,45% e 26,54%. As áreas construídas representam um percentual de selamento de caráter permanente, enquanto intervenções para redução e substituição das pavimentações de passeios e de sistema viário são intervenções mais viáveis. Ainda, as áreas diretamente conectadas a rede drenagem, representadas principalmente pelo sistema viário, geram menores oportunidades para a recarga, sendo uma prioridade.

Ainda, apesar de percentual total de áreas seladas da Asa Sul e Norte ser próximo ao do Lago Sul e Norte, as áreas possuem densidades populacionais bastante diferentes, de respectivamente 88,78hab/ha e 9,79 hab/ha. Isso também demonstra que maiores densidades, não estão necessariamente ligadas à maiores percentuais de superfícies impermeáveis. Outro ponto que indica que o impacto da forma urbana no regime hidrológico deve ser controlado por uma diversidade de parâmetros urbanísticos e não apenas a densidade populacional ou construtiva.

Essa constatação é especialmente importante ao analisar o impacto per capita de cada tipologia na sub-bacia. Nesse segmento as três tipologias com melhores condições gerais para a recarga são, em ordem: Cruzeiro Novo (52,99m<sup>2</sup> selados/hab/ha – 153,60m<sup>2</sup> selados/hab/ha), Sudoeste e Octogonal (59,45m<sup>2</sup> selados/hab/ha – 97,56m<sup>2</sup> selados/hab/ha) e Asa Sul e Norte (64,93m<sup>2</sup> selados/hab/ha – 88,78m<sup>2</sup> selados/hab/ha). Apesar de se notar a relação clara nessas tipologias entre maiores densidades e menores valores de áreas seladas por

habitante, também aqui, infere-se que outros parâmetros interferem nesse resultado, uma vez que a tipologia de segunda maior densidade da área estudada, da região do Itapoá, Paranoá, Vila Planalto e Telebrasília que possuem 116,63m<sup>2</sup> selados/hab/ha, apresenta maior valores de área selada por habitante, 78,05m<sup>2</sup> selados/ha, do que as três citadas anteriormente.

Ainda, as três tipologias com piores desempenhos a recarga possuem per capita as seguintes condições: Chácaras da região do Taquari de muita baixa densidade construtiva (2.161,13m<sup>2</sup> selados/hab – 0,99hab/ha), Chácaras da região do Taquari e Condomínio da Vila Planalto, de baixa densidade construtiva (1.228,73m<sup>2</sup> selados/hab – 2,37hab/ha) e Mansões do Lago Sul e Norte (1.418,16m<sup>2</sup> selados/hab. – 2,56hab/ha). Para uma mesma quantidade de habitantes, o impacto sobre a recarga dessas tipologias é muito superior ao do cruzeiro novo, Sudoeste e Octogonal e Asa Sul e Asa Norte, que possuem tipologias que geram áreas seladas muito menor para abrigar o mesmo número de pessoas.

Em adição análise das características de cada um dos elementos morfológicos em cada uma das tipologias, também, confirmam algumas premissas encontradas no referencial teórico. O entendimento geral da importância do planejamento e desenho do sistema viário foi confirmado, devido às grandes parcelas do total de área impermeável nas áreas urbanizadas da sub-bacia que eles representam, variando entre 19,04%, nas regiões das Chácaras do Taquari e Condomínio da Vila Planto, até 49,90%, na região do Sudoeste Econômico. Demonstrando que essas áreas merecem um redesenho atendendo as diretrizes de impacto mínimo, já apresentadas, para agregarem oportunidades de infiltração natural a área urbanizada. Dentro de cada grupo de densidade construtiva o percentual de área total ocupada pelo sistema viário pode variar em até 2.5 vezes a depender da largura das ruas de acesso e serviço, tamanho das quadras e tipo de layout.

Sobre o elemento morfológico das áreas públicas foi possível aprender que um terço das tipologias analisadas concentram o maior percentual de suas áreas seladas em áreas públicas (Áreas centrais sul e norte, Paranoá Expansão, W3 Sul e Norte, Asa Sul e Norte, Sudoeste e Octogonal e Setores de Embaixadas, Clubes, UnB, Militar, Policial e Parques); e dois terços concentram o maior percentual total de áreas seladas e potencialmente compactadas em áreas públicas (Centro Sul e Norte, Cruzeiro Novo e Velho, Itapoã, Paranoá, Vila Telebrasília e Vila Planalto, SIG e SIA, Altiplano Leste, Jardim Botânico, Dom Bosco, Chácaras Taquari e Itapoã). Tabela 4.6.

Nesse sentido, merece destaque o fato de que os mecanismos de regulação urbana (zoneamentos, índices e parâmetros urbanísticos de parcelamento do solo) não regulamentam aspectos do desempenho desses espaços públicos que possam contribuir para o aumento das oportunidades de infiltração da água.

Em adição, apesar de 92,21% das áreas públicas da sub-bacia estarem sobre áreas de recarga de aquíferos, não existe programas sistemáticos de governo voltados ao redesenho dessas áreas para contribuir com a infiltração e controle de inundações, a não ser por meio de soluções curativas, com a utilização de obras de drenagem convencionais e centralizadas.



Tipologia de ocupação urbana	% de área ocupada	% pavimentado	% não pavimentado	% não pavimentado arborizado	Escala e conexão
<b>Zona de muito alta densidade construtiva</b>					
V. Telebrasília e Planalto, Paranoá e Itapoã	20.61%	51.39%	48,61%	11,08%	Áreas pequenas e isoladas
Cruzeiro Novo	40.28%	55.23%	44,77%	22,77%	Áreas pequenas e médias e isoladas
Setor Comercial, Bancário, de Autarquia e Hoteleiro	34.20%	41.98%	58,02%	18,81%	Áreas pequenas e bem distribuídas
SIG e SAI	23.09%	33.27%	66,73%	17,73%	Áreas pequenas e bem distribuídas
Cruzeiro Velho	35.41%	32.74%	67,26%	26,32%	Áreas pequenas e médias e isoladas
<b>Zona de alta densidade construtiva</b>					
W3 Sul e Norte	39.50%	34.46%	65.54%	40.09%	Áreas médias e bem distribuídas
Sudoeste Econômico	32.92%	35.86%	64.14%	17.10%	Áreas médias e bem distribuídas
Quadra 900 sul e norte	19.69%	30.47%	69.53%	17.01%	Áreas pequenas e bem distribuídas
Expansão Paranoá	27.59%	47.79%	52.21%	9.13%	Áreas médias e bem distribuídas
<b>Zona de média densidade construtiva</b>					
Asa Sul e Norte	53.85%	24.57%	75.43%	41.31%	Áreas médias e bem distribuídas
Sudoeste e Octogonal	44.90%	22.38%	77.62%	21.65%	Áreas médias e bem distribuídas
Jardim Botânico, Altiplano Leste, Dom Bosco, Taquari e Itapoã	30.39%	24.43%	75.57%	8.46%	Áreas pequenas e isoladas
Lago Sul e Lago Norte	12.44%	22.91%	77.09%	40.52%	Áreas médias e bem distribuídas
Condomínios Itapoã e Paranoá	11.80%	20.11%	79.89%	10.09%	Áreas pequenas e isoladas
<b>Zona de baixa densidade construtiva</b>					
Embaixadas, Clubes, Universidade, Setores Policial e Militar, Esplanada e Park-Way	46.22%	12.53%	87.47%	12.37%	Áreas grandes e bem distribuídas
Chácaras Taquari e Condomínio Vila Planalto	26.96%	15.04%	84.94%	30.62%	Áreas grandes e bem distribuídas
Mansões Lago Sul e Norte	26.12%	10.25%	89.75%	17.02%	Áreas pequenas e bem distribuídas
<b>Zona de muito baixa densidade construtiva 5</b>					
Chácaras Taquari	31.13%	14.05%	85.95%	40.52%	Áreas grandes e bem distribuídas

Tabela 4.6: Análise das Áreas Públicas nas tipologias da sub-bacia do Lago Paranoá de acordo com o quadro metodológico desenvolvido.

Fonte: Própria autoria.

Tipologia de ocupação urbana	% de área ocupada	% constr.	% pavim.	% não pavim. arboriz.	Tamanho med. dos lotes	taxa de ocupação média	Média de andares	Posição da construção
<b>Zona de muito alta densidade construtiva</b>								
Telebrasília e Planalto, Paranoá e Itapoã	60,41%	66,92%	23,32%	26,66%	210.12	77,55%	2	ocupa toda a área
Cruzeiro Novo	24,13%	58,28%	20,58%	35,79%	406.53	96,39%	5	projeções
Área Central	31,33%	60,69%	23,49%	27,60%	692.72	97,04%	7	projeções
SIG e SIA	56,91%	37,72%	41,30%	53,77%	1,088.16	73,97%	3	Ao fundo
Cruzeiro Velho	44,69%	65,63%	21,48%	44,49%	220.02	81,95%	1	ocupa toda a área
<b>Zona de alta densidade construtiva</b>								
W3 Sul e Norte	37,60%	77,82%	10,86%	49,73%	195.09	85,76%	3	ocupa toda a área
Sudoeste Econômico	35,11%	49,98%	17,31%	21,28%	441.30	92,98%	4	projeções
Quadra 900 sul e norte	62,08%	30,12%	34,25%	34,57%	7,829.36	36,93%	2	centralizado
Expansão Paranoá	51,75%	10,44%	33,57%	0%	10,920.98	22,29%	4	projeções
<b>Zona de média densidade construtiva</b>								
Asa Sul e Norte	21,49%	62,49%	12,05%	32,46%	504.97	97,01%	7	projeções
Sudoeste e Octogonal	33,04%	32,98%	21,25%	49,13%	1,266.59	94,44%	7	projeções
J. Botânico, Altiplano L., Taquari e Itapoã	57,60%	26,67%	27,79%	21,53%	782.24	36,43%	2	variado
Lago Sul e Lago Norte	78,50%	22,85%	19,87%	40,28%	1,401.70	31,26%	1	a frente
Itapoã e Paranoá	77,77%	28,8%	18,21%	26,03%	1,027.24	27,76%	1	variado
<b>Zona de baixa densidade construtiva</b>								
Emb., Clubes e UnB.	39,90%	14,59%	26,22%	29,04%	9797.74	23,98%	3	centralizado
Taquari e Vila Planalto	66,99%	13,10%	19,28%	30,62%	1393	20,82%	1	variado
Mansões Lago Sul e Norte	67,08%	11,07%	16,89%	36,54%	7085.35	11,44%	1	centralizado
<b>Zona de muito baixa densidade construtiva 5</b>								
Chácaras Taquari	63,92%	9,81%	13,71%	44,41%	2,524.64	14,16%	1	variado

Tabela 4.7: Análise dos Lotes nas tipologias da sub-bacia do Lago Paranoá de acordo com o quadro metodológico desenvolvido.

Fonte: Própria autoria



Sobre o elemento morfológico dos lotes nota-se que, em todas as zonas de densidade, os maiores percentuais de áreas ocupada por lotes e projeções são aqueles de unidades habitacionais unifamiliares, chegando a representar 78,50% de todo a área ocupada no caso do Lago Sul e Norte.

Entretanto, mesmo dentre as tipologias com concentração de lotes de unidades habitacionais unifamiliares há uma grande variação de tamanho e taxa de ocupação dos lotes, sendo que as diretrizes de urbanismo sensível à água revisadas anteriormente permitem uma menor impermeabilização e perturbação do solo dentro dos lotes se aplicam principalmente naqueles lotes de maiores áreas e menores taxas de ocupação, que se concentram nas zonas das de média, baixa e muito baixa densidade construtiva.

Estes lotes na UH analisada, de modo geral, não aplicam as diretrizes estudadas de agrupamento das construções, garagens compartilhadas, redução do afastamento frontal e verticalização das construções, aumentando o impacto dessas áreas sob à recarga. Em adição mesmo tendo um maior percentual de áreas não pavimentadas e construídas esses lotes, de forma geral, não possuem um maior percentual de arborização das áreas livres e não pavimentadas. Tabela 4.7.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O planejamento urbano, subsidiado por informações sobre as relações entre padrões de ocupação do solo e regime hidrológico do sítio, possui um papel determinante na redução dos impactos negativos da urbanização sobre à água, principalmente sobre a perda de recarga dos aquíferos como aqui estudado. As semelhanças entre as áreas propícias à recarga e as áreas propícias à urbanização, demonstradas no estudo, levam a obrigatoriedade da procura por uma forma urbana que melhor propicie a infiltração natural da água nas cidades.

No Distrito Federal, na data do estudo, 81,24% da área urbanizada estavam sobre áreas de recarga; e apenas 34,74% das áreas de recarga ainda se encontravam com cobertura vegetal nativa ou reflorestada. Especificamente, na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá, 62,90% das áreas de recarga de aquíferos já estavam urbanizadas, o que implica a revisão das formas de ocupação para o restante da macrozona urbana dessa sub-bacia - que já está demarcada no Plano Diretor (PDOT 2009) como urbana, mas ainda não ocupada. Isso fará com que o restante dos 20,72% da UH a ser ocupado não resulte no mesmo grau de impacto que o encontrado atualmente.

O panorama apresentado no decorrer do trabalho demonstra, que para que esse papel ocorra, noções oferecidas pela ecologia cedem importantes entendimentos e ferramentas que possibilitam que o planejamento urbano possa atualizar seus instrumentos e práticas, de forma a promover uma manutenção do comportamento natural da água dentro da cidade. A sistematização dos conceitos das áreas da ecologia e hidrologia aqui procedida, visa operacionalizar a revisão de parâmetros urbanísticos rumo à efetiva implementação de diretrizes de urbanização sensível à infiltração de água.

A conexão entre fatores relacionados à perda de infiltração, as diretrizes de urbanização de manuais do IHP, LID e SuDS e a morfologia urbana permitiu organizar essas diretrizes, de tal forma, a constituir um arcabouço, teórico e metodológico, capaz de auxiliar a compreensão e a avaliação dos impactos de diferentes tipologias urbanas para infiltração natural da água.

Essa estrutura metodológica identificou três principais elementos configuracionais da forma urbana de maior impacto sobre o fenômeno da recarga, que são: o sistema viário; as áreas públicas livres; e os lotes. E propôs critérios de avaliação relacionados à sua capacidade de permitir a infiltração de água, que envolvem: (i) a diminuição da extensão e da conectividade das superfícies impermeáveis; (ii) a redução da perturbação do solo e adoção de técnicas de recuperação de sua estrutura; e, (iii) o aumento da extensão da floresta urbana em áreas hidrológicamente sensíveis, para alavancar as oportunidades de infiltração natural da água.

A partir da análise das tipologias urbanas na UH do Lago Paranoá reforça-se vários entendimentos obtidos durante o desenvolvimento teórico e metodológico da pesquisa, sobre a análise do impacto de áreas consolidadas e de aspectos a serem considerados no planejamento de novas áreas destacando-se: (i) a identificação da adoção de manejo do solo convencional no processo de urbanização, que leva a compactação do solo; (ii) a necessidade de consideração das características da forma urbana, além da densidade populacional e construtiva; (iii) a importância da topografia para definir o parcelamento, o design de sistema viário, dimensionamento e tipo de pavimentação; (iv) a consideração dos parâmetros urbanísticos de menor impacto sobre a recarga nas áreas públicas livres, uma vez que 2/3 das mesmas concentravam a maior parte de áreas seladas e potencialmente, compactadas; e, (v) as áreas onde se concentram grandes lotes há necessidade de aplicação das estratégias revisadas.

O estudo das tipologias demonstrou que as áreas de maior densidade geram um menor impacto na sub-bacia, já que apresentam menores quantidades de área selada por habitante. Sendo que a tipologia específica da região da Asa Sul e Norte, elencada como terceira melhor tipologia quanto ao impacto por habitante, também, foi elencada como terceira melhor tipologia quanto ao impacto por área. Assim, a partir de parâmetros urbanísticos é possível conciliar densidade com grande disponibilidade de áreas livres e vegetadas. E que, tipologia como essa, que conciliam altas densidades com baixas taxas de áreas seladas e compactadas seriam as mais adequadas para ser implantadas em áreas de alto e muito alto potencial de recarga de aquíferos.

Sendo assim, conclui-se que os aspectos identificados no estudo desmistificam um entendimento comum entre os urbanistas de que maiores densidades estão necessariamente ligadas à maiores percentuais de superfícies impermeáveis. O que se encontrou não comprova esse entendimento, pois podem existir diferentes tipologias com taxas de selamento e compactação semelhantes, que decorrem de densidades diferenciadas.

Por fim, destaca-se o desafio da pesquisa quanto a abordagem de temas de diferentes campos disciplinares, o que impõe que se continue aprofundando as

interfaces afetas ao entendimento da estrutura urbana que é, em si, transdisciplinar. Envolve principalmente as áreas de planejamento urbano, ecologia, hidrogeologia e engenharia ambiental; e a tecnologia disponível para coleta e processamento de dados, a partir de imagens de satélite e imagens de aerofotogrametria, permitiu a interpretação de dados distintos.

Possíveis pesquisas futuras para o aprofundamento do tema incluem:

- a) Investigações, por meio de modelagem e avaliações em campo do escoamento superficial gerado por tipologia urbana identificada, como objetivo de validar de forma quantitativa os princípios estabelecidos pela pesquisa.
- b) Realizar estudo da necessidade de atualização das normas urbanas (zoneamentos e índices e parâmetros urbanísticos de parcelamento do solo) para que elas se adéquem aos preceitos definidos nesta pesquisa como necessários para uma urbanização de menor impacto sobre a recarga;
- c) Aprofundar, principalmente a partir de testes de campo de taxas de infiltração, o conhecimento sobre os impactos das áreas compactadas e não arborizadas, na infiltração natural no solo de áreas urbanas da região do cerrado.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

Acsehrad, Henri. (1999). Discursos da sustentabilidade urbana. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 1,.

Almeida, Gil Carvalho Paulo de. (2004). *Caracterização Física e Classificação dos Solos*. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora.

Amaral, Rubens Do. (2015). *A prestação de serviços ecossistêmicos e a dinâmica de estoque de dióxido de carbono no Sistema de Espaços Livres do Município de Belo Horizonte*. 2015. 186 f. Universidade Federal de Minas Gerais.

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2016). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2016*. Brasília: [s.n.].

Andjelkovic, Ivan. (2001). *Guidelines on Non-Structural Measures in Urban Flood Management. International Hydrological Programme (IHP)*. Paris, France: [s.n.].

Andrade, Liza Maria Souza. (2014). *Conexão dos Padrões Espaciais dos Ecossistemas Urbanos: A construção de um método com enfoque transdisciplinar para o processo de desenho urbano sensível à água no nível da comunidade e da paisagem*. 544 p. Tese de Doutorado. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Brasília.

Arnold, Chester L.; Gibbons, James. (1996). Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. *Journal of the American Planning Association*, v. 62, n. 2, p. 243–258.

Ballard, B. Woods et al. (2015). *The SuDS Manual*. London: [s.n.].

Barbirato, Gianna Melo; Torres, Simone Carnaúba; Souza, Lea Cristina Lucas. (2011). *Clima Urbano e Eficiência Energética nas Edificações*. Rio de Janeiro: [s.n.].

Bear, Jacob. (2007). *Hydraulics of Groundwater*. 2ª ed. Mineola, NY: Dover Publications.

Booth, Dereck B. (1991). Urbanization and the natural drainage system – impacts solutions and prognoses. *The northwest environmental journal*, v. 7, n. 1.

Booth, Dereck B; Jackson, C. R. (1997). Urbanization of aquatics e degradation thresholds, stormwater detention, and limits of mitigation. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 33, p. 1077–1090.

Brito, Ana Lúcia; Barraqué, Bernard. (2008). Discutindo gestão sustentável da água em áreas metropolitanas no Brasil: reflexões a partir da metodologia europeia Water 21. *Cadernos Metrópole*, v. 19, p. 123–142.

Brown, R. R.; Keath, N.; Wong, T. H F. (2009). Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Science and Technology*, v. 59, n. 5, p. 847–855.

Brun, S. E.; Band, L. E. (2000). Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 24, p. 5–22.

Campos, José Elói Guimarães. (2004). Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a gestão dos Recursos Hídricos subterrâneos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 1, p. 41–48.].

Carter, Harold. (1977). Urban Origins: a review. *Progress in Human Geography*, v. 1, n. 1, p. 12–32.

Church, P. E.; Granato, G. E.; Owens, D. W. (1999). *Basic requirements for collecting, documenting, and reporting precipitation and stormwater-flow measurements*. . [S.l: s.n.].

Comissão de cooperação para mudança da capital. (1955). *Relatório anual da Comissão de localização da nova Capital Federal*. Brasília: [s.n.].

Crepani, E. *et al.* (2001). Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. INPE (INPE-8454-RPQ/722), p. 103.

EPA, U.S. (2000a). Environmental Protection Agency. Low Impact Development (LID): A Literature Review. n. October, p. 41.

EPA, United States Protection Environmental Agency. (2000b.). *Protecting Water Resource with Higher-Density Development*. . [S.l: s.n.].

Foster, S S D; Morris, B L; Lawrence, A R. (1994). Effects o. urbanization on groundwater recharge. In: Telford, Thomas (Org.). *Groundwater problems in urban areas*. London: [s.n.].

Foster, Stephen; Lawrence, Adrian; Morris, Brian. (1998). *Groundwater in Urban Development: Assessing Management needs and formulating policy strategies*. Washignton, D.C. : [s.n.].

GDF, Governo do Distrito Federal. (2017). *ZEE - Caderno Técnico Matriz Ecológica*. . Brasília: [s.n.].

GDF, Governo do Distrito Federal. (2008). *Documento Técnico do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal*. Brasília: [s.n.].

GDF, Governo do Distrito Federal. (2011). GREENTEC. *ZEE - Subproduto 3.1 - Relatório do Meio Físico e Biótico*. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.zee-df.com.br>>.

Gonçalves, Tatiana Diniz. (2007). *Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Distrito Federal*. 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília - UnB.

Gregory, JH *et al.* (2006). Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 61, n. 3, p. 117–124.

Hamilton, G. W.; Waddington, D. V. (1999). Infiltration rates on residential laws in central pennsylvania. *Journal of soil and water conservation*, v. 54, n. 3, p. 564–568.

Hinman, Curtis. (2012). *Low Impact Development Technical Guidance Manual for Puget Sound*. [S.l: s.n.].

Hough, Michael. (1984). *Cities and Natural Process: towards a new urban vernacular*. 1. ed. [S.l.]: Croom Helm.

Jacobson, Carol R. (2011). Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 6, p. 1438–1448.

Kaliraj, S.; Chandrasekar, N.; Magesh, N. S. (2014). Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 7, n. 4, p. 1385–1401.

Kays, Barrett L. (1980). Relationship of forest destruction and soil disturbance to increased flooding in the suburban north carolina piedmont. 1980, New Jersey: [s.n.].

Kelling, K. A.; Peterson, A. E. (1974). Urban Lawn Infiltration Rates and Fertilizer Runoff Losses under Simulated Rainfall. *American society of agronomy*, v. 39, n. 2, p. 348–352.

Lamas, José M. Ressano Garcia. (2004). *Morfologia Urbana e Desenho da Cidade*. 3ª ed. Porto, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkain.

Lee, Joong Gwang; Heaney, James P. (2003). Estimation of Urban Imperviousness and its Impacts on Storm Water Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 129, n. 5, p. 419–426.

Lima, Jorge Enoch Furchim Werneck. (2011). Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. *Ciência e Cultura*, v. 63, n. 3, p. 27–29.

Lousada, Enéas Oliveira; Campos, José Elói Guimarães. (2006). Estudos isotópicos em águas subterrâneas do Distrito Federal: subsídios ao modelo conceitual de fluxo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41, n. 2, p. 355–365.

Lousada, Enéas Oliveira; Campos, José Elói Guimarães. (2005). Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da Região do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, p. 407–414.

Machado, Ana Lúcia S.; Pacheco, Jesuete Bezerra. (2010). Serviços Ecossistêmicos e o Ciclo Hidrológico da Bacia Hidrográfica Amazônica. *Geonorte*, v. 1, p. 71–89.

Maksimovic, Cedo; Tucci, Carlos E. M. (2001). *Urban Drainage in Specific Climates. Volume I. Urban drainage in humid tropics. International Hydrological Programme (IHP)*. Paris, France: [s.n.].

Mancini, Gisele Arrobas. (2008). *Avaliação dos custos da urbanização dispersa no Distrito Federal*. 2008. 178 f. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

Marsalek, Jiri et al. (2013). *Urban Water Cycle Processes and Interactions. International Hydrological Programme (IHP)*. Paris, France: [s.n.].

Martins, E. S.; Baptista, G. M. M. (1998.). Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. *Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal*. Brasília: IEMA/ SEMATEC/UnB.

Mcharg, Ian L. (1969). *Design with nature*. [S.l: s.n.].

Mcharg, Ian L.; Sutton, Jonathan; Spirn, Anne Whiston. (1973). *Woodlands New Community Guidelines for Site Planning*. Philadelphia, Pennsylvania: [s.n.].

Mcphearson, Timon et al. (2016). *Advancing Urban Ecology toward a Science of Cities. BioScience*. [S.l: s.n.].

Melbourne Water. (2014). *Water Sensitive Urban Design Guidelines*. [S.l: s.n.].

Mello, R. M.; Castro, C. M. (2011). Exploração de água subterrânea no Distrito Federal. Gestão por sistema hidrogeológico. 2011, Maceio, AL: [s.n.]. p. 1–18.

Mota, Suetônio. (1981). *Planejamento Urbano e preservação ambiental*. Fortaleza, CE: Edições UFC.

Nascimento, Nilo de Oliveira; Heller, Léo. (2005). Ciência, Tecnologia e inovação da interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento ambiental. *Eng. sanit. ambient.*, v. 10, n. 1, p. 36–48.

Ndubisi, Foster. (2002). *Ecological Planning: a historical and comparative Synthesis*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Neves, Glauber das *et al.* (2016). Padrões das mudanças da cobertura da terra no ocontexto das grandes bacias hidrográficas do Distrito Federal. Textos para Discussão Codeplan, n 19. Brasília.

Novaes Pinto, M. (1994). Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: Novaes Pinto, M. (Org.). . *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. 2ª ed. Brasília: Editora UnB. p. 511–542.

Oliveira, P T S *et al.* (2015). The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian cerrado. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, v. 19, p. 2899–2910.

Oliveira, Vítor; Medeiros, Valério. (2015). Morpho: Combining morphological measures. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 43, n. 5, p. 805–825.

Panerai, Philippe. (2014). *Análise Urbana*. 1ª ed. Brasília: Editora da Universidade de Brasília.

Pitt, Robert *et al.* (2009). Compaction's Impacts on Urban Storm-Water Infiltration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 134, n. 5, p. 652–658.

Pitt, Robert *et al.* (2003). *Infiltration through compacted urban soils and effects on biofiltration design*. [S.l: s.n.]. v. 6062.

Pitt, Robert *et al.* (1999). *Infiltration through Disturbed Urban Soils and Compost-Amended Soil Effects on Runoff Quality and Quantity*. Washington, D.C.: [s.n.].

Postel, Sandra; Carpenter, Stephen. (1997). Freshwater Ecosystem Services. In: Daily, Gretchen C. (Org.). *Nature's Services: Societal Depedence on Natural Ecosystems*. Washignton, D.C.: Island Press.

Prince Georges County. (2000). *Low-Impact Development Design Strategies: an integrated design approach*. Department of Environmental Resources of Prince Georges County. Prince Georges: [s.n.].

Santos, Ronaldo Medeiros Dos; Koide, Sergio. (2016). Avaliação da Recarga de Águas Subterrâneas em Ambiente de Cerrado com Base em Modelagem Numérica do Fluxo em Meio Poroso Saturado. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* , v. 21, n. 2, p. 451–465.

Schueler, T. R. (1987). *Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs*. Washignton, D.C.: Washignton Metropolitan Water Resources Planning Board.



Shuster, W. D. *et al.* (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*, v. 2, n. 4, p. 263–275.

Silveira, Luis; Usunoff, Eduardo J. (2009). *Groundwater: Encyclopedia of life support systems*. Oxford, UK: [s.n.].

Simmers, I. (1987). Estimation of Natural Groundwater Recharge. Antalya, Turkey: Springer-Science+Business.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2019). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2017. Ministério de Desenvolvimento Regional, Brasília.

Souza, Christopher Freire; Cruz, Marcus Aurélio Soares; Tucci, Carlos Eduardo Morelli. (2012). Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 2, p. 9–18.

Souza, Michelle Mota De. (2013). *Determinação das áreas de recarga para a gestão de sistema de aquífero fissuro-cárstico da região de São Sebastião/DF*. Dissertação de Mestrado. 84 p. Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

SWAT, Soil and Water Assessment Tool. (2009). Theoretical Documentation Version 2009. Agricultural Research Service and Texas Agricultural Experiment Station. Texas.

Tang, Z. *et al.* (2005). Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*, v. 76, n. 1, p. 35–45.

Teixeira, Wilson *et al.* (2000). Água Subterrânea. In: KARMANN, IVO (Org.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos. p. 24.

Tudela, F. (1996). *El desarrollo sustentable y las metrópolis latinoamericanas*. México: El Colegio de México.

Urbanas, B. (1994). Assessment of BPM use and technology today. *Water Science and Technology*, v. 29, p. 347–353.

Veríssimo, Monica. (2002). In: UNESCO. *Vegetação no Distrito Federal: Tempo e Espaço*. Brasília.

Wu, Jianguo. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning*, v. 125, p. 209–221.

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. Paris, France: [s.n.].

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a sustainable World*. . Paris: [s.n.].

Yang, G. *et al.* (2010). Hydro-climatic response of watersheds to urban intensity- an Observational and modeling based analysis for the White River basin, Indiana. *Journal of Hydro- meteorology*, v. 11, n. 1, p. 122–138.

**CONSULTA DE NÚMEROS ANTERIORES/ACCESS TO PREVIOUS WORKS**

La colección completa se puede consultar en color y en formato pdf en siguiente página web:  
*The entire publication is available in pdf format and full colour in the following web page:*

<http://www2.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/institucional/publicaciones/ciur/numeros-publicados/>

**ÚLTIMOS NÚMEROS PUBLICADOS:**

- 125 Marta Donadei:** "Aportaciones para la definición de una metodología para la investigación cualitativa en el urbanismo", 74 páginas, julio - agosto 2019.
- 124 Inés Morales Bernardos, Marian Simón Rojo, Jon Sanz Landaluze (editoras):** "Agroecología y alianzas urbano-rurales frente a la desposesión [I/II]. II. Flujos y redes alternativas en la reconstrucción de las relaciones campo ciudad", 75 páginas, mayo - junio 2019.
- 123 Marian Simón Rojo, Inés Morales Bernardos, Jon Sanz Landaluze (editoras):** "Agroecología y alianzas urbano-rurales frente a la desposesión [I/II]. I. Retos, ausencias y excesos de la planificación espacial", 82 páginas, abril 2019.
- 122 Francisco J. García Sánchez:** "Planeamiento urbanístico y cambio climático: la infraestructura verde como estrategia de adaptación", 102 páginas, febrero 2019.
- 121 Sara González Moratiel:** "La ciudad y la estética: siete maneras de pensar la belleza", 67 páginas, diciembre 2018.
- 120 Eduardo de Santiago Rodríguez e Isabel González García:** "Condiciones de la edificación de vivienda aislada en suelo no urbanizable. Estudio de su regulación normativa", 84 páginas, octubre 2018.
- 119 Jorge Carretero Monteagudo:** "Metodología para rehabilitación de grandes centros comerciales", 95 páginas, agosto 2018.
- 118 Mirian Alonso Naveiro:** "El modelo "sostenible" heredado por los instrumentos de sostenibilidad", 78 páginas, junio 2018.
- 117 Inmaculada Martín Portugués:** "Mértola Vila Museu. Modelo rural de difusión del Patrimonio Cultural", 80 páginas, abril 2018.
- 116 Reyes Gallegos Rodríguez:** "Hacia un urbanismo emergente: La ciudad viva", 84 páginas, febrero 2018.
- 115 Carmen Moreno Balboa:** "Urbanismo colaborativo", 100 páginas, diciembre 2017.
- 114 Ricardo Alvira Baeza:** "Segregación espacial por renta. Concepto, medida y evaluación de 11 ciudades españolas", 101 páginas, octubre 2017.
- 113 Carlos Alberto Tello Campos:** "Revitalización urbana y calidad de vida en el sector central de las ciudades de Montreal y México", 69 páginas, agosto 2017.



PROGRAMA OFICIAL DE POSGRADO EN ARQUITECTURA

Máster Universitario en Planeamiento Urbano y Territorial (MUPUT)

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (UPM)

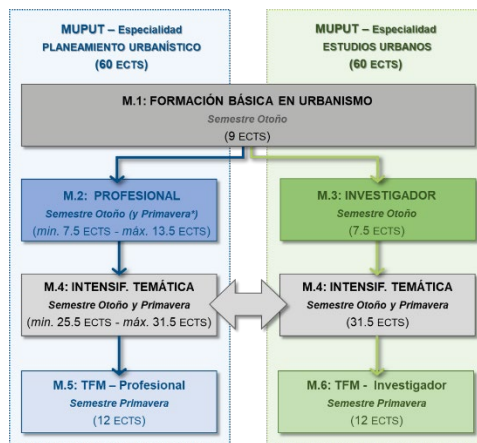
DIRECTORA DEL MÁSTER: Ester Higuera García  
 PERIODO DE DOCENCIA: Septiembre - Julio  
 MODALIDAD: Presencial y tiempo completo  
 NUMERO DE PLAZAS: 40 plazas  
 CREDITOS: 60 ECTS

El Máster se centra en la comprensión, análisis, diagnóstico y solución de los problemas y la identificación de las dinámicas urbanas y territoriales en curso, atendiendo a las dos dimensiones fundamentales del fenómeno urbano actual: por un lado, el proceso de globalización y, por otro lado, las exigencias que impone la sostenibilidad territorial, económica y social. Estos objetivos obligan a insistir en aspectos relacionados con las nuevas actividades económicas, el medio físico y natural, el compromiso con la producción de un espacio social caracterizado por la vida cívica y la relación entre ecología y ciudad, sin olvidar los problemas recurrentes del suelo, la vivienda, el transporte y la calidad de vida. Estos fines se resumen en la construcción de un espacio social y económico eficiente, equilibrado y sostenible. En ese sentido la viabilidad económica de los grandes despliegues urbanos y su metabolismo se confrontan con modelos más maduros, de forma que al estudio de las técnicas habituales de planificación y gestión se añaden otras nuevas orientaciones que tratan de responder a las demandas de complejidad y sostenibilidad en el ámbito urbano.

El programa propuesto consta de un Máster con dos especialidades:

- Especialidad de Planeamiento Urbanístico (Profesional)
- Especialidad de Estudios Urbanos (Investigación Académica)

A su vez, se estructura en seis módulos, articulados de distinto modo en cada especialidad.



#### PROFESORADO:

Andrea Alonso Ramos  
 Eva Álvarez de Andrés  
 Carmen Andrés Mateo  
 Sonia de Gregorio Hurtado  
 José María Ezquiaga Domínguez  
 José Fariña Tojo

José Miguel Fernández Güell  
 María Cristina García González  
 Isabel González García  
 Agustín Hernández Aja  
 Ester Higuera García  
 Francisco José Lamiquiz  
 María Asunción Leboreiro Amaro

Inmaculada Mohino Sanz  
 Emilia Román López  
 Inés Sánchez de Madariaga  
 Llanos Masía González  
 Javier Ruiz Sánchez  
 Álvaro Sevilla Buitrago

#### ENTIDADES COLABORADORAS:



ci[ur]

CUADERNOS DE INVESTIGACIÓN URBANÍSTICA



Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España



Ayuntamiento Real Sitio San Fernando de Henares

CONTACTO: [masterplaneamiento.arquitectura@upm.es](mailto:masterplaneamiento.arquitectura@upm.es)

<https://duyot.aq.upm.es/master/muput>

Otros medios divulgativos del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio:

# urban

**REVISTA del DEPARTAMENTO de URBANÍSTICA y ORDENACIÓN del TERRITORIO**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

## PRESENTACIÓN SEGUNDA ÉPOCA

**DESDE** el año 1997, **URBAN** ha sido vehículo de expresión de la reflexión urbanística más innovadora en España y lugar de encuentro entre profesionales y académicos de todo el mundo. Durante su primera época la revista ha combinado el interés por los resultados de la investigación con la atención a la práctica profesional, especialmente en el ámbito español y la región madrileña. Sin abandonar dicha vocación de saber aplicado y localizado, la segunda época se centra en el progreso de las políticas urbanas y territoriales y la investigación científica a nivel internacional.

## CONVOCATORIA PARA LA RECEPCIÓN DE ARTÍCULOS:

Urban mantiene abierta una convocatoria permanente para la remisión de artículos de temática relacionada con los objetivos de la revista: Para más información:

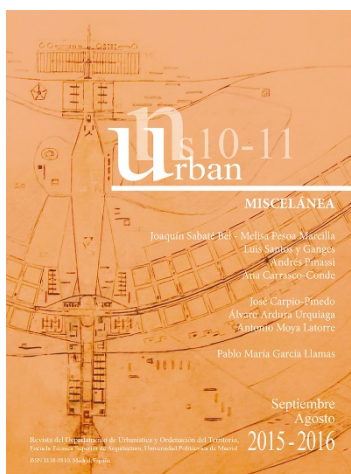
<http://www2.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/institucional/publicaciones/urban/ns/instrucciones-para-autores/>

Por último, se recuerda que, aunque La revista **URBAN** organiza sus números de manera monográfica mediante convocatorias temáticas, simultáneamente, mantiene siempre abierta de forma continua una convocatoria para artículos de temática libre.

## DATOS DE CONTACTO

Envío de manuscritos y originales a la atención de Javier Ruiz Sánchez: [urban.arquitectura@upm.es](mailto:urban.arquitectura@upm.es)

Página web: <http://polired.upm.es/index.php/urban>

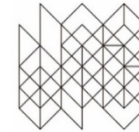


Web del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio:

<https://duyot.aq.upm.es/>

Donde figuran todas las actividades docentes, divulgativas y de investigación que se realizan en el Departamento con una actualización permanente de sus contenidos.

# territorios en formación



NE|RE|AS  
NET RESEARCH  
ASSOCIATION  
ETSAM UPM

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

**Territorios en formación** constituye una plataforma de divulgación de la producción académica relacionada con los programas de postgrado del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio de la ETSAM-UPM proporcionando una vía para la publicación de los artículos científicos y los trabajos de investigación del alumnado y garantizando su excelencia gracias a la constatación de que los mismos han tenido que superar un tribunal fin de máster o de los programas de doctorado del DUyOT.

Así, la publicación persigue dos objetivos: por un lado, pretende abordar la investigación dentro del ámbito de conocimiento de la Urbanística y la Ordenación del Territorio, así como la producción técnica de los programas profesionales relacionados con ellas; por otro, promueve la difusión de investigaciones o ejercicios técnicos que hayan sido planteados desde el ámbito de la formación de postgrado. En este caso es, principalmente, el Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio el que genera esta producción, gracias a la colaboración con la asociación Ne.Re.As. (Net Research Association / Asociación Red Investiga, asociación de investigadores de urbanismo y del territorio de la UPM), que, por acuerdo del Consejo de Departamento del DUyOT, es la encargada de la edición de la revista electrónica.

## DATOS DE CONTACTO

**Ana Sanz Fernández y Ana Díez Bermejo (Editoras):** ana.sanz@upm.es, ana.diez@upm.es.

Página web: <http://polired.upm.es/index.php/territoriosenformacion>

