



**ALINE DA NÓBREGA OLIVEIRA**

**As áreas verdes nos padrões de ocupação do solo urbano no Distrito Federal e seu papel na provisão de serviços ecossistêmicos hídricos.**





Universidade de Brasília - UnB

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPG/FAU

**As áreas verdes nos padrões de ocupação do solo urbano no  
Distrito Federal e seu papel na provisão de serviços  
ecossistêmicos hídricos**

**Aline da Nóbrega Oliveira**

Orientadora: Professora Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo de Lima Bezerra

Projeto e Planejamento Urbano

Linha de Pesquisa: Paisagem, Território e Políticas Urbanas

Brasília, Distrito Federal

2022

**ALINE DA NÓBREGA OLIVEIRA**

**As áreas verdes nos padrões de ocupação do solo urbano no  
Distrito Federal e seu papel na provisão de serviços  
ecossistêmicos hídricos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração: Projeto e Planejamento – Paisagem, Território e Políticas Urbanas.

Orientadora: **Prof. Dra. Maria do Carmo de Lima Bezerra**

Brasília, Distrito Federal

2022



## TERMO DE APROVAÇÃO

Dissertação de autoria de Aline da Nóbrega Oliveira, sob o título "**As áreas verdes nos padrões de ocupação do solo urbano no Distrito Federal e seu papel na provisão de serviços ecossistêmicos hídricos**", apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo em 29 de abril de 2022 para comissão julgadora constituída pelos doutores:

---

**Profa. Dra. Maria do Carmo de Lima Bezerra**

Presidente

Universidade de Brasília

---

**Prof. Dr. Rômulo José da Costa Ribeiro**

Membro Interno

Universidade de Brasília

---

**Dra. Maria Silvia Rossi**

Membro Externo

Secretária de Meio Ambiente do Distrito Federal

---

**Profa. Dra. Camila Gomes Sant'Anna**

Suplente

Universidade Federal de Goiás



*À natureza e seus elementos que nos dão a vida.*

## AGRADECIMENTOS

Acredito que em uma pesquisa de pós-graduação, além do capítulo dos resultados e conclusões, a seção de agradecimentos é muito esperada. Por ser uma dissertação iniciada no início da pandemia de COVID-19 foi um percurso um pouco mais solitário que o normal, mas ainda assim tenho muito a quem agradecer:

Primeiramente, agradeço aos meus *guias espirituais* que sempre estão ao meu lado.

Aos meus *familiares* por compreenderem os momentos de ausência.

Ao meu companheiro *William Parga* pelas palavras de amor e encorajamento.

À minha orientadora *Maria do Carmo de Lima Bezerra*, uma guia acadêmica e conselheira de vida, uma mulher à frente de seu tempo, a qual tenho muita admiração.

À minha amiga *Caroline Albergaria*, grande presente da pós-graduação, agradeço o apoio e companheirismo nesse percurso ao qual trilhamos em conjunto e continuaremos a trilhar com nossa amizade.

Ao meu amigo *Rubens do Amaral*, o qual tenho grande admiração, que me inspira como pessoa e que tanto contribui na minha jornada acadêmica e profissional.

Agradeço à *Maria Elisa Costa, Daniela Junqueira e Sergio Koide*, por sempre me apoiarem nos estudos hidrológicos, pelos conselhos acadêmicos, profissionais e de vida.

Agradeço ao amigo *Bruno Oliveira*, por todas as conversas acerca do tema, pelos ensinamentos em SIG e pelo empenho na elaboração da ferramenta Python, a qual poderá auxiliar outros pesquisadores e gestores da área.

Às minhas amigas *Gabriela Branquinho, Ingrid Sampaio e Yamila Khrisna*, três grandes pesquisadoras e planejadoras que tanto me orgulho.

À equipe da *SUPLAN/SEDUH*, em especial à Diretoria de Planejamento e Sustentabilidade Urbana, pelas palavras de apoio.

À *Camila Sant'Anna, Maria Silvia Rossi e Rômulo Ribeiro* por dedicarem parte de seu tempo contribuindo com esta pesquisa e com o meu amadurecimento profissional no planejamento urbano.

Agradeço a *Universidade de Brasília*, por me acolher em mais uma jornada acadêmica e por todas as oportunidades que a universidade pública já me proporcionou.



*“Somos da natureza, vivemos na natureza. A resposta adequada é entender suas formas e se comportar de acordo.”*

*(McHarg, 1996, p.6)*

## RESUMO

OLIVEIRA, Aline da Nóbrega. **As áreas verdes nos diferentes padrões de ocupação do solo urbano no Distrito Federal e seu papel na provisão de serviços ecossistêmicos hídricos**. 2022. 184 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2022.

As cidades, em sua maioria, têm se desenvolvido dissociadas dos ciclos naturais com reflexos sobre pessoas e meio ambiente. Nesse contexto, as áreas verdes urbanas despontam como elementos potenciais para articulação entre os serviços ecossistêmicos e a provisão de serviços ambientais. Para tanto, se deve considerar que as áreas verdes precisam ser estabelecidas em localidades que a infraestrutura ecológica viabilize tais serviços e não, como tem sido observado, em qualquer espaço dentro da estrutura urbana. A prática corrente tem resultado em padrões urbanísticos que contemplam a vegetação na malha urbana, sem, no entanto, considerar o desempenho ecológico o que resulta em baixa assertividade para promover serviços ambientais. Logo, avançar em estudos que demonstrem as relações entre os serviços ecossistêmicos e a ocupação urbana levando em conta a disponibilidade de áreas verdes se torna uma avaliação necessária para direcionar a tomada de decisão no âmbito das políticas públicas urbanas. Assim, partindo das hipóteses que **(i) os padrões urbanísticos com maior percentual de áreas verdes contribuem para garantia e promoção de serviços ambientais hídricos e (ii) os percentuais de áreas verdes públicas e privadas devem ser delimitados a partir da combinação entre as necessidades urbanísticas e a infraestrutura ecológica para provimento de serviços ambientais**, esta pesquisa busca avaliar e comprovar o potencial das áreas verdes nos padrões urbanos para provisão de serviços ambientais hídricos. Para isso, foi realizado estudo de caso no Distrito Federal, região no Planalto Central brasileiro que possui baixa capacidade hídrica e é dependente de reservas subterrâneas. Para a avaliação a pesquisa considerou os estudos desenvolvidos no âmbito do Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal – ZEE-DF e aplicou a metodologia Mapping Ecosystem Services – MapES de Lima et. al, (2017), com elaboração de ferramenta em Python, para mensuração de serviços ecossistêmicos hídricos. Como conclusão pôde ser verificado que a cobertura vegetal associada as bases ecológicas é um indicador para o monitoramento da provisão ambiental hídrica em áreas urbanas consolidadas e projeto urbanos em curso, sendo de maior relevância que o índice de áreas verdes por habitante. Por conseguinte, se observou a desarticulação entre a localização dos maiores percentuais de áreas verdes urbanas no território distrital em relação aos riscos ecológicos de recarga de aquíferos, demonstrando que as normativas urbanísticas e os projetos urbanos tem reduzido o potencial de provisão hídrica, comprovando as problemáticas abordadas pelo ZEE-DF e as hipóteses levantadas. Por fim, a pesquisa contribui e aponta para a necessária revisão de normas e parâmetros urbanísticos e indica método para delimitar os percentuais das áreas verdes urbanas, tanto públicas como privadas, levando em conta a relação entre áreas verdes e infraestrutura ecológica.

Palavras-chave: Áreas Verdes Urbanas. Infraestrutura Ecológica. Serviços Ambientais. Gestão Urbana. Monitoramento.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

d048? da Nóbrega Oliveira, Aline  
As áreas verdes nos padrões de ocupação do solo urbano no Distrito Federal e seu papel na provisão de serviços ecossistêmicos hídricos / Aline da Nóbrega Oliveira; orientador Maria do Carmo de Lima Bezerra. -- Brasília, 2022.  
186 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -- Universidade de Brasília, 2022.

1. Áreas Verdes Urbanas. . 2. Infraestrutura Ecológica..  
3. Serviços Ambientais. 4. Gestão Urbana.. 5. Monitoramento.  
I. de Lima Bezerra, Maria do Carmo , orient. II. Título.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Aline da Nóbrega. **Green areas in different patterns of urban land use in the Federal District and their role in the provision of water ecosystem services.** 2022. 184 p. Dissertation (Master of Architect and urban planning) – University of Brasília, Distrito Federal, 2022.

Cities, for the most part, have developed disassociated from natural cycles with consequences on people and the environment. In this context, the urban green areas emerge as potential elements for articulation between ecosystem services and the provision of environmental services. To this end, one should consider that green areas need to be established in places where the ecological infrastructure enables such services and not, as has been observed, in any space within the urban structure. The current practice has resulted in urbanistic patterns that contemplate vegetation in the urban structure, without, however, considering the ecological performance, which results in low assertiveness to promote environmental services. Therefore, to advance in studies that demonstrate the relationship between ecosystem services and urban occupation taking into account the availability of green areas becomes a necessary assessment to guide the decision making in the context of urban public policies. Thus, based on the hypotheses that (i) urban patterns with a higher percentage of green areas contribute to guarantee and promote water environmental services and (ii) the percentages of public and private green areas should be delimited from the combination with the ecological infrastructure, this research seeks to evaluate and prove the potential of green areas in urban patterns for the provision of water environmental services. For this, a case study was conducted in the Federal District, a region in the Brazilian Central Plateau that has low water capacity and is dependent on groundwater reserves. For the evaluation, the research considered the studies developed in the scope of the Ecological-Economic Zoning of the Federal District - ZEE-DF and applied the Mapping Ecosystem Services - MapES methodology of Lima et. al, (2017), with the elaboration of a tool in Python, to measure water ecosystem services. As a conclusion it could be verified that the vegetation cover associated with the ecological bases is an indicator for the monitoring of the environmental water provision in consolidated urban areas and urban projects in progress, being of greater relevance than the index of green areas per inhabitant. Therefore, it was observed the disarticulation between the location of the largest percentages of urban green areas in the district territory in relation to ecological risks of aquifer recharge, demonstrating that the urban norms and urban projects have reduced the potential for water supply, proving the problems addressed by ZEE-DF and the hypotheses raised. Finally, the research contributes and points to the necessary review of urban norms and parameters and indicates a method to delimit the percentages of urban green areas, both public and private, taking into account the relationship between green areas and ecological infrastructure.

Keywords: Urban Green Areas. Ecological Infrastructure. Environmental Services. Urban Management. Monitoring.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Plan for the Valleys de McHarg.....	38
<b>Figura 2</b> Solução de drenagem para infiltração em solos de elevada permeabilidade.	40
<b>Figura 3</b> Esquema proposto por Ian McHarg: medição, mapeamento, monitoramento e modelagem. ....	41
<b>Figura 4</b> Construção dos Padrões Urbanísticos. Fonte: SILVA (2014).....	44
<b>Figura 5</b> Conjuntos e subconjuntos dos conceitos espaços livres e áreas verdes.....	47
<b>Figura 6</b> Área verde e Espaço verde. ....	48
<b>Figura 7</b> Parâmetro taxa de permeabilidade aplicado em áreas urbanas.....	55
<b>Figura 8</b> Impacto no ciclo hidrológico devido às mudanças na cobertura pelo desflorestamento.....	60
<b>Figura 9</b> Interação entre os serviços ecossistêmicos e o bemestar humano.....	61
<b>Figura 10</b> Serviços Hídricos associados a uma bacia hidrográfica. Adaptado pela autora.....	68
<b>Figura 11</b> CN áreas Urbanas.....	79
<b>Figura 12</b> Número de artigos publicados por ano com citação do termo Serviços Ecossistêmicos no título, palavras-chave ou resumo. ....	85
<b>Figura 13</b> Abordagem das publicações de Serviços Ecossistêmicos em Áreas Urbanas. ....	86
<b>Figura 14</b> Sub bacia Análise Plano Piloto de Brasília. ....	100
<b>Figura 15</b> variação dos serviços ecossistêmicos entre o período de 1964 e 2019. ....	106
<b>Figura 16</b> Comparação gráfica por histogramas com redução de serviços em relação a vegetação. ....	108
<b>Figura 17</b> Relação entre a vegetação e o serviço ecossistêmico ao longo dos anos. ....	108
<b>Figura 18</b> Média Pluviométrica dos últimos 10 anos da pluviometria no Distrito Federal. ....	111
<b>Figura 19</b> Compartimentação Geomorfológica do DF.....	113
<b>Figura 20</b> Hidrogeologia do Distrito Federal.....	116
<b>Figura 21</b> Sítios para implantação da capital federal.....	118
<b>Figura 22</b> Distrito Federal e sua localização nas regiões hidrográficas.....	119
<b>Figura 23</b> RA Sobradinho Projeto da década de 60-70 com categorias de áreas verdes urbanas: Praças, parques e áreas verdes non aedificand. Fonte: SISDUC-SEDUH.....	122
<b>Figura 24</b> Regiões Administrativas com delimitação da ocupação urbana.....	124

<b>Figura 25</b> Mapa de risco ecológico de perda de recarga de aquífero do ZEE-DF/DF. .....	125
<b>Figura 26</b> Ocupações sobre áreas de recarga de aquíferos. Elaborado pela autora..	128
<b>Figura 27</b> Curva Número com dados de 2019 em ocupação urbana.....	135
<b>Figura 28</b> Potencial de Armazenamento de água em ocupação Urbana.....	136
<b>Figura 29</b> Evolução Urbana Paranoá. Fonte: DISTRITO FEDERAL (2018) .....	147
<b>Figura 30</b> Ocupações urbanas na Região Administrativa do Paranoá. ....	148
<b>Figura 31</b> Padrão Urbanístico do Paranoá com delimitação das tipologias de áreas verdes do projeto inicial. Fonte: autora elaborado com dados do SISDUC/DF .....	149
<b>Figura 32</b> Taxa de Permeabilidade área consolidada Paranoá.....	151
<b>Figura 33</b> Mapa Pedológico. Fonte: Zoneamento Ecológico Econômico- GDF (2017). .....	155
<b>Figura 34</b> (a) Uso e Cobertura do Solo e (b) Potencial de Armazenamento de água na área de análise. ....	156
<b>Figura 35</b> Uso e Cobertura do Solo com taxa de permeabilidade e áreas pública manejadas. ....	158
<b>Figura 36</b> Cenário 1 - Atual. ....	159
<b>Figura 37</b> Cenário 2 – Área Verde Privada com taxa de permeabilidade 20%. ....	160
<b>Figura 38</b> Área Verde Privada e Área verde Pública.....	160
<b>Figura 39</b> Cenário 4 – Atual com Parque Ecológico a jusante da ocupação urbana...	161
<b>Figura 40</b> Cenário 5 – Área Verde Privada com taxa de permeabilidade 20% e inserção de área do Parque a jusante da ocupação urbana. ....	162
<b>Figura 41</b> Cenário 6 - Área Verde Privada com taxa de permeabilidade 20% e inserção de área do Parque a jusante da ocupação urbana. ....	163

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Método de McHarg (1969). Fonte: Sant'Anna (2020) .....	42
<b>Tabela 2</b> Conceituação do termo Áreas Verdes. ....	48
<b>Tabela 3</b> Relação da Declividade do Relevo com a taxa de infiltração. Fonte: Gonçalves (2007).....	73
<b>Tabela 4</b> Características hidrológicas dos Grupos de solos desenvolvidas para o Método SCS. Fonte: Sartori et al., (2005) com dados de Mockus (1972) ...	76
<b>Tabela 5</b> Classificação dos grupos hidrológicos com base no método SCS desenvolvido por Sartori (2004). Fonte: Sartori et al., (2005 p.11) .....	77
<b>Tabela 6</b> Serviços Ecológicos e Indicadores baseado nos serviços e propostos por LIMA et.al. 2017.....	102
<b>Tabela 7</b> Classificação do Uso e cobertura da terra com os serviços ecossistêmicos baseado nas métricas de Lima et.al (2017). ....	103
<b>Tabela 8</b> Fator de Redução da declividade, pedologia e distância da hidrografia baseado nas métricas de Lima et.al (2017). ....	104
<b>Tabela 9</b> Compartimentos geomorfológicos Distrito Federal.....	112
<b>Tabela 10</b> Percentual de áreas de Recarga de aquíferos em ocupação urbana de acordo com os Riscos Ecológicos do ZEE-DF. Fonte: autora com dados do ZEE-DF e SITURB-DF .....	126
<b>Tabela 11</b> Área de Cobertura Vegetal na Ocupação Urbana em Macrozona Urbana.	131
<b>Tabela 12</b> Índice de áreas verdes na ocupação Urbana em Macrozona Urbana.....	133
<b>Tabela 13</b> Percentual do Potencial de Armazenamento de água no solo (S) por Região Administrativa. ....	137
<b>Tabela 14</b> Sistematização dos dados para avaliação das RAS com percentuais de áreas verdes compatíveis com a infraestrutura ecológica hídrica.....	139
<b>Tabela 15</b> Comparativo áreas verdes privadas com percentuais de áreas de recarga. ....	142
<b>Tabela 16</b> Cenários urbanos com áreas verdes públicas e privadas.....	154
<b>Tabela 17</b> Classificação do Uso e cobertura da terra com os serviços ecossistêmicos Fonte: Lima et.al (2017). ....	157
<b>Tabela 18</b> Comparativo entre cenários.....	164

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>PROBLEMA</b> .....	<b>21</b>
<b>HIPÓTESES</b> .....	<b>25</b>
<b>OBJETIVO</b> .....	<b>25</b>
Objetivos específicos .....	25
<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO 1   Cidade e natureza: a inserção da visão ecológica e ecossistêmica</b>	<b>31</b>
1.1. As visões percussoras do verde urbano nos séculos XVIII e XIX.....	31
1.2. A ecologia urbana e o planejamento ambiental urbano.....	35
1.3. Morfologia Urbana: Elementos constituintes dos padrões urbanísticos ..	43
1.3.1. Áreas livres e verdes nos espaços públicos urbanos .....	46
1.3.2 Áreas Livres e Verdes nos espaços privados .....	54
<b>CAPÍTULO 2   Serviços ecossistêmicos e ambientais hídricos: conceitos e características da infraestrutura ecológica</b> .....	<b>57</b>
2.1. Bases conceituais dos Serviços Ecossistêmicos e Ambientais .....	57
2.2. Serviços Ecossistêmicos e Ambientais hídricos. ....	67
2.3. Características urbano-ambientais para avaliação da provisão dos serviços ambientais hídricos em áreas verdes urbanas.....	70
<b>CAPÍTULO 3   Metodologias de mensuração com foco na provisão de serviços ecossistêmicos</b> .....	<b>84</b>
3.1. Estado da arte em relação aos estudos sobre serviço ecossistêmicos urbanos .....	84
3.2. Métodos de avaliação de serviços ecossistêmicos.....	87
3.3. Teste metodológico do MapES como ferramenta de monitoramento da provisão de serviços ambientais hídricos em áreas verdes urbanas.....	99
<b>CAPÍTULO 4   Ocupação urbana e impactos sobre os serviços ambientais hídricos no DF: estudo da articulação entre áreas verdes urbanas e infraestrutura ecológica</b> .....	<b>110</b>
4.1. Caracterização Ambiental do DF.....	111
4.2. Estudos antecedentes à ocupação do Distrito Federal.....	117
4.2.1. Breve histórico da ocupação Urbana no que tange a suas relações com as áreas de recarga de aquíferos .....	120
4.3. Cobertura Vegetal das áreas urbanas do DF.....	129
4.3.1. Articulação entre as áreas verdes urbanas e a infraestrutura ecológica no DF. ....	134



<b>CAPITULO 5   Avaliação do desempenho das áreas verdes públicas para ampliação da recarga de aquíferos em uma área urbana consolidada: o estudo da cidade do Paranoá no DF.....</b>	<b>145</b>
<b>5.1. Histórico de Ocupação e Normativas urbanísticas em ocupação urbana da     RA Paranoá.....</b>	<b>146</b>
<b>5.2. Mapeamento dos serviços ambientais hídricos com aplicação do método     MapES. ....</b>	<b>153</b>
<b>5.2.1. Processamento dos dados e Resultados .....</b>	<b>159</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>165</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>170</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>182</b>

## INTRODUÇÃO

As áreas verdes, no decurso da estruturação das cidades, foram associadas a funções diversas: desde a evocação do sagrado na Roma antiga à apreciação e exaltação do belo no renascimento (PANZINI,2013). Entretanto, sempre foi um elemento secundário na estruturação urbana, dado que a cidade se afirmava em oposição as imensas áreas rurais e naturais que predominavam sobre as manchas urbanas até o século VIII. Será nessa época que os ambientes naturais urbanos iniciam sua estruturação devido à acelerada urbanização promovida pela Revolução Industrial (BENEVOLO,2015).

Assim, no século XIX, como resposta a excessiva densidade e insalubridade das cidades, as áreas verdes são promovidas no tecido urbano, por meio dos estratos arbóreos nas vias públicas ou em áreas delimitadas, como praças, jardins e parques públicos. Foi o início do reconhecimento de que a paisagem natural era necessária aos espaços urbanos e possuía função associada a promoção da qualidade de vida. Essas experiências percussoras do período da revolução industrial demonstraram que a inserção da natureza nas cidades não ocorria pela necessidade da preservação da natureza e da manutenção da atividade ecossistêmica, como o ciclo da água, mas da afirmação de uma visão de ofertar as pessoas espaços de lazer e interação social.

Diante de iniciativas esparsas será após os trabalhos Frederic Law Olmsted (1822-1903) e nas publicações de Henry David Thoreau (1854)<sup>2</sup> e George Perkins Marsh (1867), que se demonstrará o papel das áreas verdes como elemento estruturante das cidades dando início a um longo caminho que levará a preocupação com a proteção ambiental ou da lógica ecossistêmica. Assim, foi a partir de projetos como os de Frederic Law Olmsted (1822-1903) que as discussões acerca da preservação de áreas de fragilidade ambiental por meio da criação de parques com função ecológica se iniciaram. Nesse caminho, áreas

---

<sup>2</sup> Walden; or Life in the Woods (1854)

associadas a preservação dos recursos hídricos e do ciclo hidrológico se destacaram.

Esse movimento, mais associado aos arquitetos paisagistas, em conjunto com movimento da preservação da natureza, propiciaram uma consciência tanto da necessidade de reverter o processo de degradação dos ambientes naturais, como de repensar as relações entre paisagem natural e cidades.

Atualmente, esse processo tem se desenvolvido pela consolidação de uma base conceitual e normativa de caráter ambiental, que obteve maior engajamento a partir dos anos de 1980 em seu caráter mais mitigatório e que evolui nos anos de 1990, a partir da Eco-92, com a difusão de conceitos como os de Serviços Ecosistêmicos (SE), que são aqueles prestados pela infraestrutura ecológica e Serviços Ambientais (SA), que são um subconjunto dos serviços ecosistêmicos, de interesse direto a sobrevivência humana, como a água.

Tais conceitos se tornaram bastante difundidos a partir da Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MA)<sup>3</sup> iniciada em 2001 e publicada em 2005, e teve como objetivo avaliar as consequências nas mudanças dos ecossistemas, incluindo os impactos provenientes dos processos de urbanização. Dessa forma, seus objetivos têm auxiliado na modificação das relações entre cidade e natureza, bem como do papel do verde nas escalas territoriais, não somente no sentido das áreas naturais de preservação e conservação.

No entanto, cabe salientar, que o tratamento do tema das áreas verdes urbanas no Brasil pouco se reflete nas normas urbanísticas, mas sim nas de cunho ambiental, como se pode destacar a revisão do Código Florestal de 1965, que passou a vigorar como a Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Essa trouxe como inovação, a necessidade de preservar os ambientes naturais vegetados nas cidades, para além dos espaços territoriais especialmente protegidos. Para tanto, o Art. 3º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, define como conceito de áreas verdes urbanas:

---

<sup>3</sup> Millennium Ecosystem Assessment - MA

*“Espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais.” (BRASIL,2012)*

Assim, se pode verificar que a conceituação de áreas verdes urbanas pela revisão do Código Florestal está em sintonia com a visão dos serviços ambientais, e que tem auxiliado na modificação da visão das áreas verdes urbanas como meras áreas de sociabilização e lazer como tem predominado desde o surgimento da disciplina do Urbanismo do fim do século XIX<sup>4</sup>, apesar dos projetos de parques com foco ambiental, pois apresenta uma interpretação de que essas áreas se habilitam para melhoria da qualidade ambiental urbana, assim como para a proteção dos recursos hídricos, entendendo-os como um patrimônio natural finito, em que as áreas verdes urbanas se tornam oportunas para sua manutenção e produção.

Isso posto, ressalta-se que mesmo com a legislação vigente, a contribuição das áreas verdes urbanas na proteção dos recursos hídricos ainda é um paradigma em desenvolvimento. Do ponto de vista da gestão territorial urbana há pouca contribuição de como as diferentes áreas verdes dispostas nos padrões urbanísticos, que estruturam as cidades, podem ou não contribuir para a manutenção de serviços ecossistêmicos, como os hídricos. Mesmo diante do grande avanço conceitual sobre o tema, as áreas verdes urbanas, ainda, são tratadas como espaços residuais no território, continuamente reduzidas, dado ao elevado crescimento populacional e à conseqüente expansão da urbanização de forma desordenada e/ou por parâmetros urbanos que não dialogam com os aspectos físicos do território, o que contribui para modificação dos ciclos naturais, como o da água, com conseqüências ambientais que se traduzem em episódios de crises hídricas e sociais com impactos provenientes dos desastres hidrológicos.

---

<sup>4</sup> Idelfonso Cerdá inaugura a disciplina do Urbanismo, responsável pelo primeiro tratado de Urbanismo: A teoria geral da Urbanização.

## PROBLEMA

No Brasil, nos anos de 2014 e 2018 grandes cidades foram afetadas pela crise hídrica. Durante esse período os governos locais instalaram o racionamento das águas, refletindo nas atividades econômicas urbana e rurais. No âmbito das políticas públicas as discussões sobre as causas do problema mantiveram-se em questões de maior visibilidade como o alto consumo *per capita* da água em determinadas regiões, perdas vinculadas ao sistema de distribuição e o manejo de águas pluviais, em especial as discussões da drenagem urbana sustentável. No entanto, as formas de ocupação nas cidades, pautadas em altas taxas de impermeabilidade que possuem elevado impacto, permaneceram e permanecem invisíveis na pauta da problemática hídrica urbana, o que demonstra pouca compreensão sobre a dinâmica dos ecossistemas urbanos<sup>5</sup> (ALBERTI,2005) e sobre o potencial das áreas verdes urbanas como componentes de articulação com as infraestruturas ecológicas potenciais.

No Distrito Federal, região do Planalto Central brasileiro, a crise premente começou a ser demonstrada em sua gravidade a partir dos estudos do Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal (ZEE-DF), Lei nº 6.269/2019, iniciados em 2010, em que já apontavam riscos de racionamento para os anos posteriores. No decorrer dos estudos da Matriz Ecológica<sup>6</sup> foram apontados riscos ecológicos significativos quanto ao impacto das formas de urbanização sobre as áreas de recarga de aquíferos, principalmente ao se tratar de uma região que possui uma situação de estresse hídrico, já conhecida desde os levantamentos ambientais anteriores à ocupação urbana. As considerações do ZEE-DF indicaram a urgência da análise e proteção dos serviços ecossistêmicos hídricos, que impactam na qualidade de vida e qualidade ambiental urbana, dentre outros aspectos.

---

<sup>55</sup> Conjunto de interação dos organismos vivos com os organismos urbanos, envolvendo os componentes abióticos, como água, solo, vegetação.

<sup>6</sup> “A Matriz Ecológica do Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal (ZEE-DF) foi elaborada a com o propósito de conscientizar os gestores públicos – e demais tomadores de decisões – sobre as intervenções antrópicas promovidas no território e, em especial, as consequências geradas pela ocupação desordenada, já que esta acaba significando custo – muitas vezes invisível – para o Estado e prejuízos para a sociedade” (DISTRITO FEDERAL,2017).

Tanto o problema como os estudos existentes apontaram para a necessária aceleração das mudanças de paradigma nos estudos da parte invisível da problemática hídrica que se refere aos padrões urbanísticos e a disponibilidade de áreas verdes, para que possa se manter a infraestrutura ecológica adequada contribuindo para provisão hídrica.

Mesmo que o estudo dos serviços ecossistêmicos e ambientais e suas relações com as áreas verdes urbanas demandem várias interfaces, o tema dos recursos hídricos impõe, no DF, urgência na produção de informações que subsidiem ações de planejamento urbano e induzam padrões de ocupação do solo que dialoguem com as fragilidades e riscos aos serviços ecossistêmicos hídricos, tais como: a provisão hídrica por meio da recarga dos aquíferos. À vista disso, a disponibilidade de áreas verdes tem se mostrado para o DF uma oportunidade para manutenção do funcionamento pleno da infraestrutura ecológica, em face da oportunidade de manter a provisão ecossistêmica hídrica de forma a conceder funções para além da estética, entendendo as áreas verdes como infraestruturas ativas para serviços ambientais, capazes de auxiliar na manutenção e funcionamento do ciclo hidrológico.

Estudos como os de (AMARAL,2015; CASTRO, 2017; SERAPHIM, 2018, CARVALHO, 2018; OLIVEIRA, 2019, BRITO, 2020; SANCHES, 2020;) conjecturam que diferentes padrões urbanos podem gerar efeitos ecológicos diversos e os que possuem maior disponibilidade de áreas verdes contribuem para a manutenção das funções ecossistêmicas. OLIVEIRA (2019), ao avaliar e construir modelos de padrões urbanos para o DF, objetivando a redução do escoamento superficial, desenvolveu estudos apoiada em simulações hidrológicas que comprovam ser o padrão morfológico de superquadras<sup>7</sup> quadras, como as do Plano Piloto de Brasília, aquele que reduz o escoamento devido a maior permeabilidade do solo associada as áreas verdes públicas. Sendo um estudo circunscrito, a comparação entre padrões urbanísticos

---

<sup>7</sup> “A superquadra é a mais importante contribuição de Brasília à história do urbanismo mundial. Lucio Costa, ao romper com a estrutura do quarteirão convencional, abrindo-o e transformando-o em um amplo bosque<sup>7</sup> entremeadado por blocos residenciais multifamiliares, de até seis pavimentos em pilotis livres, liberando o chão para uso público indistinto, concebeu uma nova maneira de morar em área urbana” (IPHAN,2015)

presentes no DF pode ser ampliada para produção de serviços ambientais hídricos em um universo maior com a consideração das áreas verdes como elementos urbanísticos que compõem as cidades. Outros pontos relevantes a serem considerados se referem ao fato da adequação do padrão urbanístico à infraestrutura ecológica da cidade. No caso o padrão de quadras avaliado foi proposto para uma vasta área que dispõe de uma infraestrutura ecológica heterogênea, onde o desempenho da provisão hídrica só ocorre em alguns trechos da bacia.

Dessa forma, compreender quais padrões são mais adequados à provisão hídrica diante da disponibilidade de áreas verdes articulada ao desempenho da infraestrutura ecológica do território a ser ocupado constitui-se um aspecto de estudo relevante, pois propicia a compreensão das relações cidade e natureza e o entendimento de que as áreas verdes urbanas podem auxiliar em uma melhoria na produção ambiental hídrica, por se tratar de elementos urbanos que propiciam permeabilidade com potencial para infiltração das águas e consequente recarga dos aquíferos.

Contudo, não se deve esquecer que é recorrente o fato de se acreditar que as áreas verdes desempenham o mesmo papel em diferentes localidades dentro da estrutura urbana. Esse fato tem reforçado padrões urbanísticos que contemplam a vegetação na malha urbana, sem, no entanto, avaliar como o padrão urbano se alinha com o desempenho ecológico intrínseco da área. Logo, avançar em estudos que demonstrem as relações entre os serviços ecossistêmicos hídricos e a ocupação urbana, levando em conta a disponibilidade de áreas verdes, se torna uma avaliação inicial para direcionar a tomada de decisão no âmbito das políticas e projetos no âmbito do planejamento urbano e manejo de suas áreas verdes.

É certo que a problemática dos impactos socioambientais da urbanização é amplamente discutida e tem se desenvolvido um arcabouço investigativo vinculado aos sistemas urbanos na abordagem dos serviços ecossistêmicos, no entanto, nota-se um uso diminuto de abordagens da provisão dos serviços

ambientais vinculados aos padrões urbanos tanto no que se refere à definição de índices de ocupação do solo urbano quanto em seu monitoramento exercido pela gestão territorial urbana.

MCDONOUGH et al., (2017), pontuam que os estudos afetos à temática dos serviços ecossistêmicos, em sua grande maioria, possuem abordagem intuitiva com temas de baixa adesão a métodos da teoria aplicada sem avaliar as relações entre causa e efeito. Portanto, esta pesquisa busca contribuir com a discussão das relações entre padrões urbanísticos e a proteção de serviços ecossistêmicos hídricos, por meio da avaliação da compatibilidade da infraestrutura ecológica, provedora de serviços ecossistêmicos hídricos, em relação à disponibilidade de áreas verdes públicas e privadas no território do Distrito Federal.

A pesquisa contempla não só os estudos dos riscos ecológicos trazidos pelo Zoneamento Ecológico Econômico do DF como busca compreender a articulação das áreas verdes nos padrões urbanos com a infraestrutura ecológica, assim como os métodos utilizados para avaliação de serviço ecossistêmicos, em especial os hídricos com vistas a avaliação de mecanismos para avaliação na gestão territorial urbana.



## **HIPÓTESES**

Tendo em vista o problema exposto, a pesquisa se debruça nas seguintes hipóteses:

- (i) Padrões urbanísticos com maior percentual de áreas verdes contribuem para garantia e promoção de serviços ambientais hídricos;
- (ii) Os percentuais de áreas verdes públicas e privadas devem ser delimitados a partir da combinação entre as necessidades urbanísticas e a infraestrutura ecológica para provimento de serviços ambientais.

## **OBJETIVO**

Em virtude da problemática e hipóteses apresentadas a pesquisa visa:

Avaliar e recomendar estratégias para melhoria da provisão de serviços ambientais hídricos a partir da disponibilidade de áreas verdes públicas e privadas tendo em conta a sua compatibilidade com a infraestrutura ecológica.

### **Objetivos específicos**

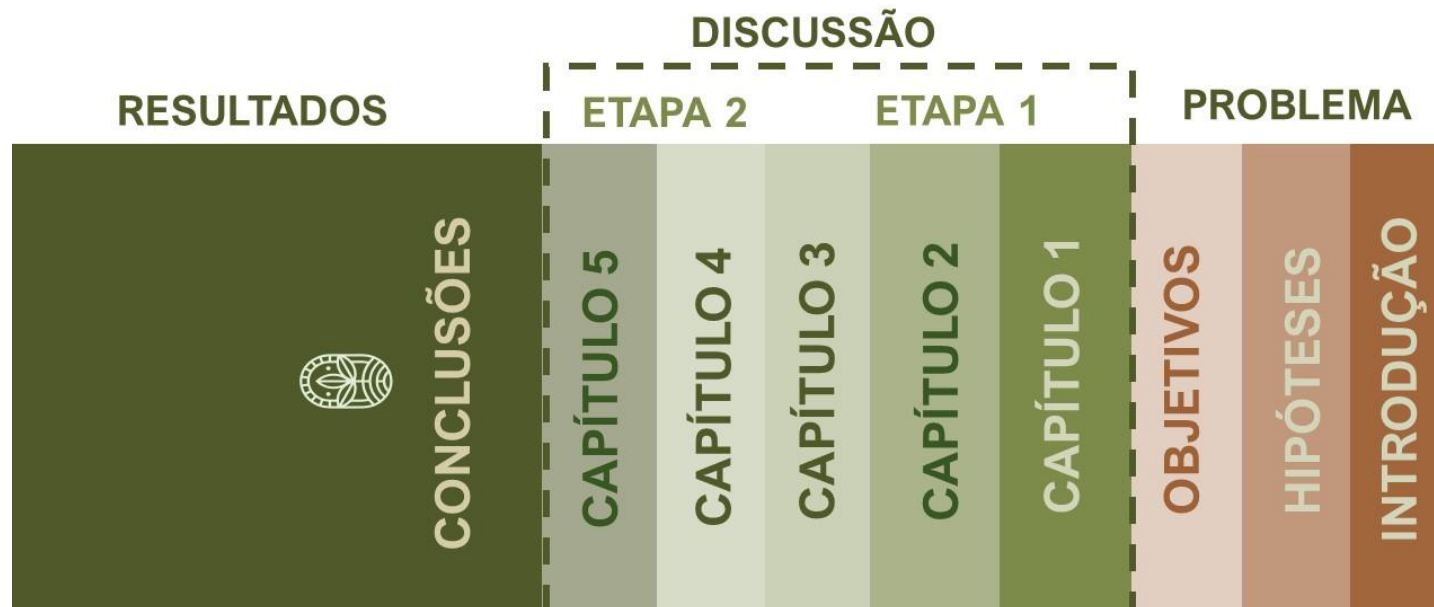
1. Conceituar o que se entende por área verde urbana a partir do entendimento dos elementos constituintes da estrutura urbana;
2. Discutir as funções que os serviços ecossistêmicos desempenham na estruturação da paisagem urbana;
3. Compreender os fatores intervenientes associados aos serviços ecossistêmicos hídricos;
4. Identificar o potencial de serviços ecossistêmicos hídricos em macrozona urbana em conjunto com a disponibilidade de áreas verdes no Distrito Federal;
5. Avaliar o impacto da alteração dos percentuais das áreas verdes públicas e privadas na provisão de serviços ambientais hídricos e simular cenários para melhoria em uma região do Distrito Federal.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para avaliação do problema exposto, verificação das hipóteses e alcance dos objetivos, a pesquisa se organiza em duas etapas:

Na etapa (i) a pesquisa desenvolve o arcabouço conceitual-normativo e prático para as pesquisas no âmbito das áreas verdes urbanas e dos serviços ecossistêmicos, em seguida na etapa (ii) desenvolve os passos e métodos avaliados e testados na etapa 1 por meio da aplicabilidade e mensuração do papel das áreas verdes urbanas para provimento de serviços ambientais hídricos.

Sendo assim, as etapas se estruturam nos capítulos da pesquisa, a primeira (i) abarca os capítulos 1,2 e 3 e a etapa (ii) os capítulos 4 e 5, que subsidiam os resultados para conclusões.



O capítulo 1 se divide em três seções que revisam os textos de MARSH (1864); FRANCO (1997); VALLEJO (2002); CASTELNOU (2003) ; SANTOS (2004); ALEX (2008); BENEVOLO (2015); SANT'ANNA (2020); MASCARÓ; YOSHINAGA, (2013); MEINE (2013); por meio de um recorte temporal no fim do século XVIII, para compreender o início da inserção das áreas verdes nas cidades, prosseguindo para a revisão dos textos de MCHARG (1969); ODUM (1985); GOLLEY, (1993); NDUBISI (1997); MENEGUETTI (2007); XIMENES (2011); FERREIRA (2013); YANG et al., (2015); HANNES (2016); MUNÓZ et al., (2016); HUNDT, G. et al., (2016); DANIELS (2019); SANT'ANNA (2020), que contribuíram com as análises da inserção do pensamento ecológico nas cidades que, por conseguinte, exigiu o entendimento dos elementos que estruturam as cidades com ênfase na morfologia urbana, por meio da revisão dos textos de DEL RIO (1999); LAMAS, (2004), NETTO (2014); PANERAI (2014); SILVA (2014); SANCHES (2020), para compreensão do que, atualmente, se entende por área verde urbana, no âmbito discussão paradigmática de seu papel social para socioambiental, com revisão dos textos de MACEDO (1995); LOBODA e ANGELIS (2005); BUCCHERI FILHO e NUCCI (2006); RIBEIRO (2008); HIJOKA ET AL.,(2007); BARGOS E MATIAS (2011); BREUSTE (2013); RUBIRA (2016); STEINER (2016); AMARAL (2015), para assim compreender, no capítulo 2, dividido em três seções, por meio da revisão dos textos de MA (2005); SMITH et al., (2006); BRAUMAN et al.,. (2007); BAGGETHUN et al., (2010); ELMQVIST et al., (2013); HEJNOWICZ (2015); CHMURA et al., (2015); FORMAN (2015); CONSTAZA et al., (2017); PEREIRA;SOBRINHO (2017); EMBRAPA (2019) o que são os serviços ecossistêmicos e ambientais, bem como os elementos intervenientes, urbanos e ambientais, necessários para sua manutenção e provisão com revisão dos textos de MOTA (2011); LOMBARDO (1985); LOMBARDI NETO et al., (1989); SARTORI (2004); SARTORI et al., (2005); GONÇALVES (2007); GÓMEZ-BAGGETHUN (2013); SANTOS (2012); SERAPHIM (2018); FERREIRA (2019); BRITO (2020).

O capítulo 3 se inicia com a revisão dos textos BURKHARD et al., (2009); KANDZIORA et al., (2013); QUEIROGA et al., (2014); LIMA et al., (2015), MCDONOUGH et al., (2017); MUNÓZ; FREITAS (2017); LIMA (2019) que buscam compreender o estado da arte da temática dos serviços ecossistêmicos e ambientais e sua relação com o território urbano e o entendimento do papel das áreas verdes em sua provisão, em seguida, são avaliadas as metodologias aplicadas em território urbano e rural que visam o monitoramento e a

mensuração dos serviços ecossistêmicos, com análise das pesquisas de PATAKI (2011); DERKZEN et al., (2015); LIMA et al., (2017); CASTRO (2017); GAUDERETO et al., (2018); LONSDORF et al., (2021); LIU; RUSSO (2021); DERKZEN et al., (2015); PATAKI (2011). Ainda no capítulo 3, se busca avaliar o método de LIMA et al., (2017) como um modelo de abordagem para o monitoramento dos serviços ecossistêmicos em áreas urbanas, que auxiliará na compreensão do papel da cobertura vegetal como um dos indicadores para avaliação da provisão dos serviços ambientais hídricos.

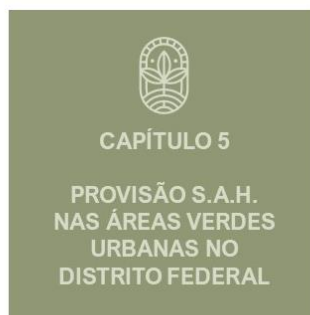
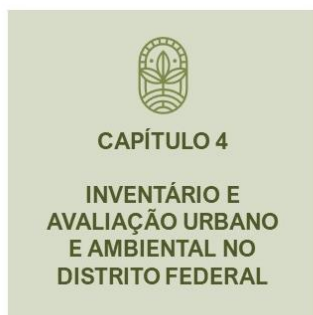
Nesses três capítulos, que conformam a etapa 1, se discute o papel das áreas verdes como elemento do padrão urbano capaz de auxiliar na provisão ambiental hídrica, quando associado à infraestrutura ecológica. Dessa forma, são alcançados os três primeiros objetivos da pesquisa – (i) conceituar o que se entende por área verde urbana a partir do entendimento dos elementos constituintes da estrutura urbana; (ii) discutir as funções que a natureza possui para as áreas urbanas e (iii) Compreender os fatores intervenientes na provisão de serviços ecossistêmicos hídricos.



Em resumo, a etapa (ii) aplicará os estudos da etapa (i) que abarcam o Capítulo 4, com a avaliação do território do Distrito Federal com ênfase nas análises ambientais e urbanas, respectivamente, do Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal DISTRITO FEDERAL (2017b), MARTINS E BAPTISTA (1998); CAMPOS (2004); GONÇALVES (2007); ADASA, (2015); ADASA (2018); Relatório Cruis (1895), Relatório Belcher (1955), Plano Diretor de Águas, Esgotos e Controle da Poluição - PLANIDRO/1970, Plano Estrutural de Ordenamento Territorial - PEOT/1977, apoiado pelo banco de dados do Sistema de Informação Territoriais e Urbanas do Distrito Federal (SITURB) e da Matriz Ecológica do ZEE-DF.

Ademais, nessa etapa são identificados fatores intervenientes da infraestrutura ecológica, assim como o levantamento das áreas verdes urbanas com as áreas de recarga de aquíferos e o potencial de armazenamento de água no solo, se valendo dos estudos das seções anteriores, assim, essa seção discute e comprova a desarticulação das normativas urbanísticas no DF quanto a delimitação das áreas verdes urbanas e sua desarticulação com a infraestrutura ecológica para provisão de serviços ambientais hídricos. Dessa forma, essa seção alcança o objetivo 4 da pesquisa, que visa identificar o potencial de serviços ecossistêmicos hídricos em macrozona urbana em conjunto com a disponibilidade de áreas verdes urbanas.

Por fim, são efetuadas as análises e conclusões acerca do potencial das áreas verdes urbanas na provisão ambiental, partindo das conclusões e análises de dados dos capítulos anteriores e do entendimento trazido pelas análises de ISAIAS (2008); DISTRITO FEDERAL, (2017b); CASTRO, (2017); SERAPHIM, (2018); OLIVEIRA, (2019); SANCHES (2019); BRITO (2020), se constitui o capítulo 5, que visa avaliar o potencial do manejo das áreas verdes urbanas em áreas de ocupação consolidada, com vistas a traçar conclusões e recomendações que auxiliem o desenvolvimento de políticas e parâmetros de uso e ocupação do solo em padrões urbanísticos consolidados.





# CAPÍTULOS

*"A natureza tem sido vista como um embelezamento superficial, como um luxo, mais do que como uma força essencial que permeia a cidade.*

*Anne Whiston Spirn*

## **CAPÍTULO 1 | Cidade e natureza: a inserção da visão ecológica e ecossistêmica**

Esta seção explora, por meio de um recorte temporal com início no fim do século XVIII, o início da inserção das áreas verdes nas cidades até sua atual discussão sobre seu papel como elemento provedor de serviços ambientais hídricos e mantenedor dos ecossistemas. A discussão se associa ao que se apresentava como problemas urbanos em cada época, os conceitos prevalentes para, de modo evolutivo, chegar ao pensamento ecológico e ecossistêmico. Esses momentos são exemplificados nas práticas de estruturação do tecido urbano iniciadas por percussores como Frederic Law Olmsted, nos anos 1800, até chegar a Ian Mc Harg na década de 1960, que cobre desde o processo de projeto (desenho) ao planejamento urbano com a natureza. Para finalizar será discutido os elementos estruturadores da morfologia urbana que, ao conformarem diferentes arranjos, moldam os padrões urbanísticos determinantes no desempenho de serviços ambientais hídricos.

### **1.1. As visões percussoras do verde urbano nos séculos XVIII e XIX.**

Durante a Revolução Industrial o desenvolvimento tecnológico levou a novas relações de trabalho que se refletem na organização das cidades que, munidas de novos sistemas de transportes, passam a crescer de forma exponencial como reflexo do êxodo rural de camponeses e agricultores que se tornaram assalariados nas indústrias. Esses fatores, entre outros, estimularam o aumento progressivo de uma ocupação urbana que, sem precedentes na história, não dispunha de meio para disciplinar seu crescimento. BENEVOLO (2015) salienta que em Londres, no final do século XVIII, estimava-se uma população de um milhão de habitantes e na segunda metade do século XIX a população alcançou dois milhões e meio. A ocupação desordenada nas cidades, com infraestrutura escassa, baixos níveis de higiene humano e a contaminação das águas, desencadeou o aumento da proliferação de doenças e miasmas.

Em síntese, as cidades se desenvolviam em estruturas inóspitas, ruas estreitas, sem salubridade e com baixo percentual de espaços livres e/ou verdes, houve a

desconstrução do senso de natureza e pouca preocupação se tinha com a concepção de cidades articuladas com a preservação de elementos da natureza entremeando os tecidos urbanos (SANTOS,2004). Até mesmo os edifícios, com espaços ajardinados (hortos) foram sendo substituídos por múltiplas edificações que abrigavam grande parte da classe proletária. Nesse cenário, surgiram tentativas de ordenamento do espaço urbano com surgimento da disciplina do Urbanismo por volta de 1860, assim como mais adiante nascia a atividade multidisciplinar do planejamento urbano. (CASTELNOU,2003).

Normas e planos para melhoria dos problemas sanitários emergiram, entendidos como uma questão de saúde ou médico (FEE; BROWN,2005), sendo necessária ações nas áreas de saneamento. Na Inglaterra, a partir dos anos 1830, as normas sanitárias destacaram a obrigatoriedade de instalações sanitárias em cada residência e a criação de parques públicos (MASCARÓ; YOSHINAGA, 2013), os quais estavam associados ao desenvolvimento de propostas de drenagem, verdejamento, embelezamento e usos sociais dos espaços públicos para comunidade. Os parques públicos eram comumente referenciados como os “pulmões” da cidade (JORDAN,1994).

A proposição de criação de espaços verdes públicos veio a se somar aquelas mais voltadas aos ideais higienistas e passou a nortear o ordenamento dos espaços urbanos como um elemento do mundo natural introduzido pelo movimento romântico (SANTOS, 2004; PÁDUA,2005; MEINE,2013). O verde público, em forma de parques, praças, bulevares, permeados pelo ambiente construído, passa a ser entendido como um mosaico que ganha relevo no conceito de paisagem urbana que irá marcar o planejamento das cidades do século XIX. (ALEX,2008). Especialmente para Frederic Law Olmsted, que cunhou a expressão Arquiteto da Paisagem (*Landscape Architect*)<sup>8</sup>, e passou a desenvolver projetos com foco na estruturação do território articulando sistemas naturais e sociais. De acordo com SANT’ANNA (2020):

---

<sup>8</sup> Termo que, como palavra e categoria profissional, foi uma expressão cunhada por Frederic Law Olmsted (ALEX,2008).



*“A Arquitetura da Paisagem se desenvolveu a partir de um diálogo entre os elementos construídos e os naturais nas propostas paisagísticas de jardins públicos e privados, que incorpora seus conhecimentos específicos (técnica de horticultura, engenharia hidráulica, dentre outros).”*  
(SANT’ANNA, 2020 p. 41)

Apesar de não ser o precursor dos projetos de parques urbanos<sup>9</sup>, Olmsted contribuiu, de acordo com CASTELNOU (2003), com a inserção de uma lógica sistêmica de parques associada ao planejamento das cidades, não vistos como elementos isolados, o que contribuiu com a visão da necessária formulação de planos urbanísticos para as cidades.

O sistema de parques de Olmsted introduzido nos EUA, abrangia o planejamento nas diferentes escalas e possuía uma preocupação com recreação, preservação da paisagem natural e a gestão da qualidade da água (MENEGUETTI, 2007). Articulava pela primeira vez os sistemas de espaços livres urbanos com os sistemas naturais. Em suas propostas “Olmsted entendia a rede hídrica como fundamental para o desenvolvimento urbano das cidades” (SANT’ANNA, 2020 p.48) o que, também, se constituía uma visão inovadora. Pois os rios eram vistos como elementos associados a economia e funcionalidade urbana.

A partir desses fundamentos, as obras de George Perkins Marsh, e Henry David Thoreau, (FRANCO,1997; MENEGUETTI,2007; MEINE,2013), colaboraram com princípios para sistematização dos espaços verdes e livres e, também, propiciaram o surgimento do Movimento dos Parques (The Park Movement), no século XIX (EISENMAN,2013;), o qual auxiliou no estreitamento da relação entre cidade e natureza.

Em outra vertente, de acordo com MENEGUETTI (2007), MARSH (1867) alertava sobre o impacto destrutivo da atividade humana sobre a natureza e Thoreau (1854) discorria sobre a necessidade de as cidades possuírem parques e florestas primitivas. Tais publicações vieram a influenciar os ideais dos ecologistas, ainda, no século XIX, e contribuíram para o arranjo de campanhas e

---

<sup>9</sup> Downing e Thomas Jefferson foram responsáveis por preparar o campo para o desenvolvimento da tradição do paisagismo nos EUA, consolidada por Olmsted (Meneghetti,2007 apud. Lima,1996)

políticas que levaram ao surgimento do Movimento Conservacionista (The Conservation Movement). Movimento que segundo HANNES (2016) decorre das ideias de John Muir<sup>10</sup> que, de resto, foi base de todo o movimento ambientalista nos EUA. Em síntese essas ideias se colocam como resposta às mudanças aceleradas nas condições demográficas e ambientais tanto de cidades, como do mundo rural e natural.

De acordo com MEINE (2013) o desencadear destes movimentos possibilitou a proteção e preservação de paisagens cênicas, recursos naturais e espaços selvagens. O movimento culminou no estabelecimento de parques e reservas florestais americanas, como o parque Yellowstone<sup>11</sup>, em 1872: marco da conservação de espaços naturais, e também da visão de salvar pedaços da natureza contra os efeitos deletérios do desenvolvimento urbano-industrial (VALLEJO,2002). Portanto, as intervenções nas cidades como o sistema de áreas verdes articulado com a rede hídrica, realizadas por Frederic Law Olmsted, que contribuiu com o The Park Movement, se somam, na escala regional, aos movimentos ambientais no século XIX e juntos passam a constituir marcos e respostas aos processos de exploração rural e urbano.

De qualquer sorte, CRANZ E BOLAND (2004) relatam que mesmo com as iniciativas do movimento de parques urbanos predominava nas cidades pouca preocupação com o ambiente natural, sendo o pensamento de cidades mais verdes se propagado com maior intensidade no século XX, como legado aversivo ao caos urbano presenciado nos séculos anteriores.

---

10 “Escocês, autodidata, estudioso de geologia, química e botânica, criador da teologia biocêntrica da natureza e escritor...” (Hannes,2016)

11 Yellowstone foi o primeiro Parque Nacional na história, estabelecido em 1872 nos Estados Unidos. Posteriormente novas reservas florestais e parques foram sendo instituídos, com intuito de conservação do caráter florístico, faunísticos, bem como de suas sub-bacias hidrográficas. De acordo com VALLEJO (2002): “A criação de outros parques pelo mundo no Canadá (1885), na Nova Zelândia (1894), na Austrália e na África do Sul (ambos em 1898) seguiu o modelo de Yellowstone.”

## 1.2. A ecologia urbana e o planejamento ambiental urbano

O entendimento de se conceber áreas verdes articuladas aos processos naturais deriva dos conceitos do que hoje se conhece como Ecologia<sup>12</sup>. A compreensão da dinâmica dos processos naturais e sua relação com as atividades antrópicas surge como resultado das alterações ambientais que tornam os estudos das espécies isoladas ultrapassado como forma de garantir sua proteção. A análise das relações sistêmicas com o meio ganha força com a ecologia e advém da percepção de como as novas formas de exploração humana da natureza. Formas, essas, que resultavam em consumo desenfreado de água, solo, vegetação decorrentes da urbanização<sup>13</sup> e processos de produção agrícola e que, portanto, necessitavam de uma compreensão de atuação integrada.

O conhecimento da interação dos organismos com seu habitat propiciou também a evolução do termo ecossistema, considerado o sistema básico da análise ecológica (GOLLEY, 1993), o conceito foi empregado pelo botânico Tansley<sup>14</sup> em 1935 e representa a interação das comunidades com o seu ambiente físico. O equilíbrio constitui o componente central para a relação das populações e a capacidade de suporte do meio. Mais adiante, o termo ecossistema foi bastante desenvolvido nas pesquisas de Odum, por meio da publicação “Fundamentos da Ecologia” (1953), quando expõe, didaticamente, as interações dos organismos no seu meio, inclusive a perturbação das atividades humanas sobre os sistemas, apresentando uma visão circular das interações entre as trocas de matéria e energia.

A compreensão dos ecossistemas propiciou o reconhecimento de que a ecologia pode estar associada a maiores escalas e suas comunidades associadas aos

---

12 Ecologia deriva do grego “oikos”, que significa casa ou lugar onde se vive. Estuda a interação dos organismos e grupos de organismos em seu habitat. Odum (1985), entende como a biologia do ambiente. A ecologia é um dos ramos inserido na Biologia. Em 1886 o termo Ecologia foi cunhado em escritos de Ernst Heinrich Philip August Haeckel como a relação dos organismos com seu ambiente e impulsionou a prática de forma sistemática, institucionalizando-se como disciplina científica, na passagem do século XIX para o XX (ODUM,1985; GAZAL,2006; BONILLA,2010; BARROS,2011; EGERTON,2012, PADUA,2005).

13 Odum (1985) aponta que pesquisas como as de Butzer (1964); Sauer (1966); Bennett (1968) documentaram significativo impacto das relações do homem com a natureza mesmo antes da sociedade Industrial.

14 Termo empregado em uma publicação na revista Ecology, 1935.

sistemas. Esta visão possibilitou a adoção de princípios ecológicos ao ordenamento da população humana uma vez que essa é parte do ecossistema (ODUM,1985). A abordagem ecossistêmica na ecologia, de acordo com VIGLIO e FERREIRA (2013), proporcionou maior repercussão para o pensamento ambientalista tendo reverberado nas conferências nacionais de conservação e utilização de recursos naturais.

Do ponto de vista urbano, a vanguarda do planejamento ambiental<sup>15</sup>, tendo como seu escopo de trabalho a interação entre o ambiente urbano e natural, se articulava com o pensamento holístico e buscava uma postura biocêntrica<sup>16</sup>, que parte do ponto de vista da ecologia como conhecimento e que visava a interferência de menor impacto ao meio como resultado da urbanização (XIMENES, 2011).

A evolução das teorias dos ecossistemas e da ecologia em meio urbano, foram inseridas nas ciências sociais a partir da ecologia humana<sup>17</sup>, que evidenciou questões como a capacidade de suporte<sup>18</sup> do meio a partir das interações humanas, termo que posteriormente irá ser empregado como princípio de planejamento e gestão territorial (NDUBISI,1997). Nesse sentido, a Ecologia Urbana se baseia nas teorias e métodos das ciências naturais e sociais, estudando os padrões e processos dos ecossistemas urbanos (MUNÓZ ET AL., 2017). Nas décadas subsequentes de fins dos anos de 1960 e início dos anos de 1970, houve a construção do discurso ambientalista com o reconhecimento dos assentamentos humanos como objetos legítimos de estudo ecológico (MCDONNELL,2011; ANDRADE, 2012). Construía-se uma visão mais consolidada da ecologia “da” cidade inserida a uma visão ecossistêmica, de harmonia com os processos naturais, não mais voltada para a análise dos organismos “na” ecologia.

---

<sup>15</sup> Uma questão que importa ser pontuada é que a posição dos atores que agem sobre as escalas urbanas e, em consequência, no ambiente natural, facilitou a visualização dos impactos que sua atuação, em maioria dissociada do pensamento ecológico, dos ecossistemas, propiciou uma maior oportunidade de visualização dos atritos e desequilíbrios quando espécies consomem os mesmos recursos.

<sup>16</sup> Conceito oposto ao antropocentrismo, em que todas as formas de vida importam.

<sup>17</sup> Os primeiros estudos da ecologia voltados para as questões urbanas deriva da Escola de Chicago, o qual, atualmente, vincula-se aos estudos da Sociologia Urbana.

<sup>18</sup> Termo posteriormente “empregado como princípio de planejamento e gestão” (NDUBISI,1997).

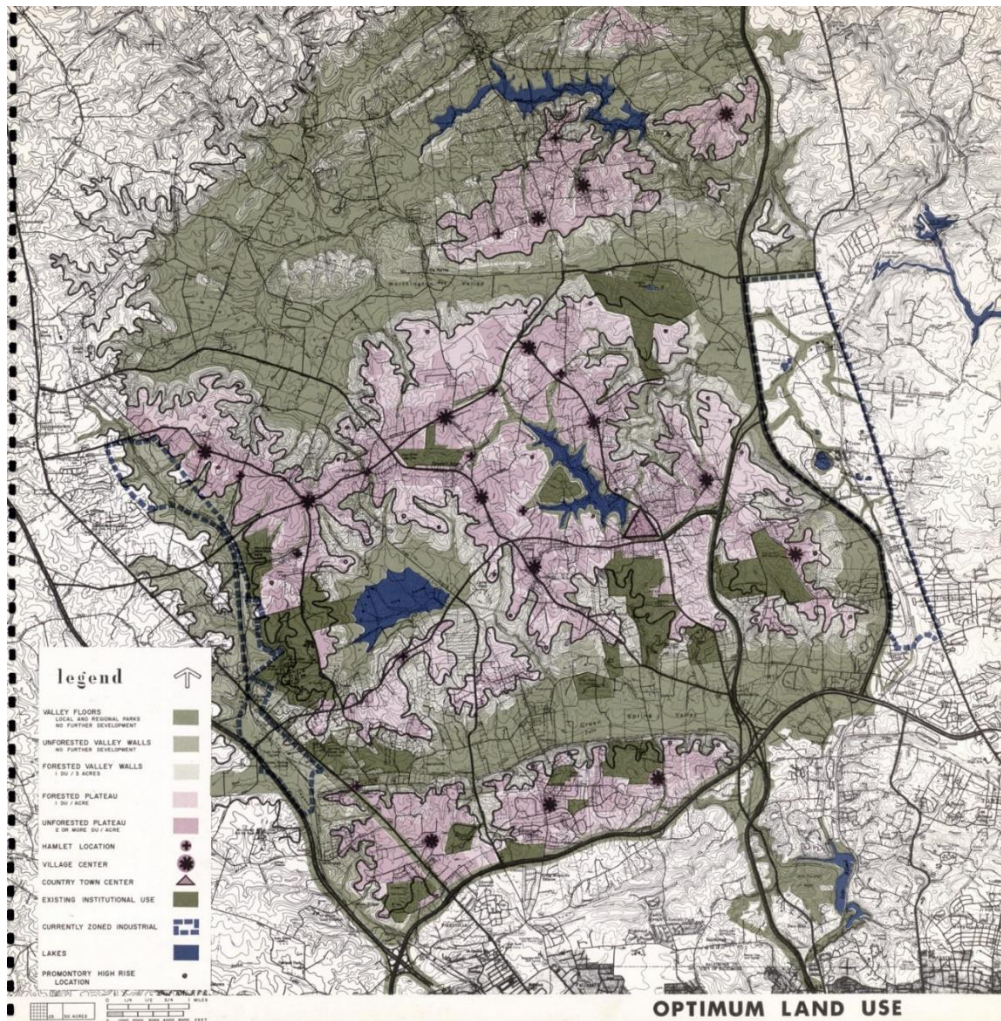
Como exemplificação da inserção do pensamento ecossistêmico na matriz urbana estão os estudos do Ian L. McHarg (ODUM,1985; NDUBISI,1997; MENEGUETTI,2007; OLIVEIRA,2019; SANT'ANNA ,2020), que se baseavam na leitura dos processos ecológicos em interação com as atividades antrópicas. McHarg trouxe para o planejamento urbano a visão da necessária manutenção dos processos naturais e da preservação dos serviços ecossistêmicos ao ancorar a matriz ecológica como base de decisão para o desenvolvimento do uso e ocupação do solo urbano, onde, para cada área no território, havia um determinismo ecológico, o qual foi testado dentro de sua abordagem.

No contexto de suas obras, são elencados três projetos marcantes que percorrem o desenvolvimento de sua abordagem ecológica para o planejamento urbano, dentre os quais se cita: (i) *The Metropolitan Open Space*, Philadelphia em 1963; (ii) *The Plan for the Valleys*, Maryland em 1964 e (iii) *The Woodlands Texas* em 1974.

O *The Metropolitan Open Space* na Philadelphia (1963) baseou-se em princípios gerais do determinismo ecológico com ênfase em um planejamento ecológico regional. O autor depreendia que havia áreas propícias para urbanização e outras inadequadas a ocupação; reiterava sobre a presença de áreas produtoras de insumos, mesmo não havendo intervenção humana, como áreas de recarga de aquíferos para provisão hídrica. Entendimento esse que se alinha com a noção de ecossistema e dos processos naturais da infraestrutura ecológica. Tais princípios delimitaram questões basilares para o desenvolvimento de seu método.

O plano para *The Valleys*, em 1964, foi o primeiro teste com aplicação do planejamento de McHarg com os princípios ecológicos (HUNDT; DANIELS, 2016), acrescidos de análises das características da paisagem sobrepostas em camadas com ênfase em oito fatores: águas superficiais, aquíferos, áreas de recarga de aquíferos, áreas úmidas (pantanosas), planícies de inundação, declividades acentuadas, terrenos planos; florestas e bosques. O método de camadas auxiliava na verificação da inter-relação de vários sistemas e na avaliação dos serviços ecossistêmicos intrínsecos à área. Por meio da

sobreposição das características da paisagem, aperfeiçoada ao longo dos estudos, se pode constatar que o território do The Valleys possuía fragilidades do ponto de vista hidrológico, assim como demonstrou que a área de estudo possuía solos de qualidade para agricultura e cobertura florestal de vocação multifuncional para contemplação e provisão de serviços ecossistêmicos como o controle de erosão.



**Figura 1** Plan for the Valleys de McHarg.  
Fonte: Hundt;Daniels (2016)

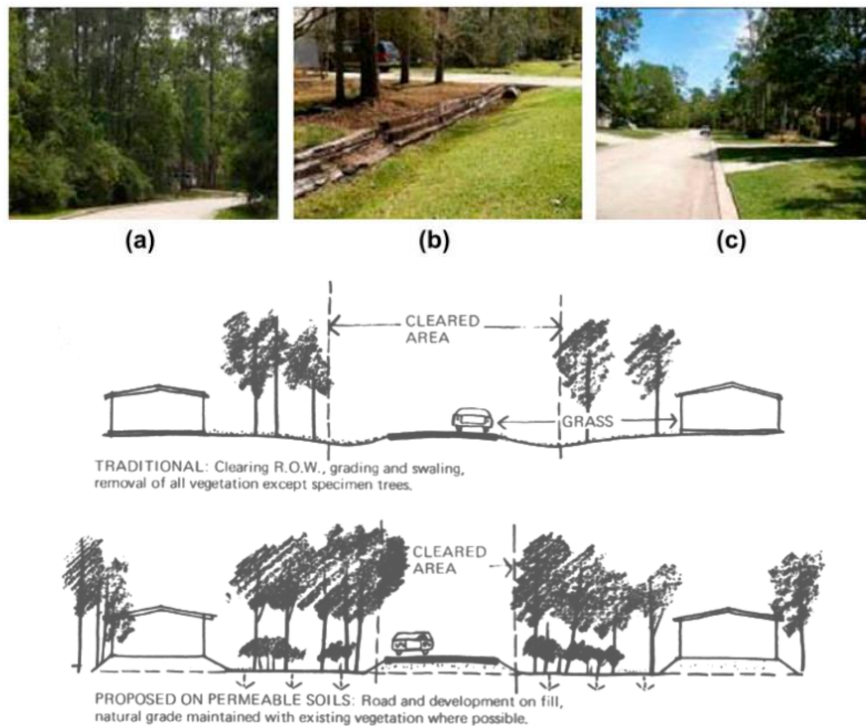
Para mais, a abordagem de McHarg não se focou apenas na análise ecológica pois procurou agregar informações da sócio economia com a projeção do crescimento populacional que auxiliaram na elaboração de três estratégias para o plano de ocupação e de proteção do Valleys: (i) delimitação de fronteiras, a fim de regular a implantação de sistemas de infraestrutura de saneamento, (ii) zonas

de baixa densidade habitacional e a (iii) demarcação de áreas de conservação em áreas não passíveis para ocupação, devido ao potencial de provisão de serviços ecossistêmicos, tais como as áreas de recarga de aquíferos (DANIELS, 2019).

Depreende-se da abordagem de McHarg que a presença de áreas verdes em seus planos eram premissas que visavam a manutenção dos serviços ecossistêmicos, especialmente por contribuírem com a permeabilidade. Essa associação também pode ser verificada nos estudos para a região do Texas, EUA, o Plano The Woodlands.

Sua contratação para elaboração do plano The Woodlands em 1974, decorre da repercussão positiva de suas análises fisiográficas e modelos de desenvolvimento populacional que, “envolvia a criação de uma cidade em uma floresta que tinha solo e condições de drenagem inadequadas” (HUNDT; DANIELS, 2016, P.37). Assim, como os demais planos de McHarg, o desenvolvimento dos estudos foi precedido do inventário natural apontando a tolerância paisagística da área. Nesse projeto, frente ao comportamento hidrológico da área, buscou-se manter a permeabilidade do solo, em virtude da presença de áreas de recarga de aquíferos, as diretrizes de ocupação buscavam impedir a ocupação urbana dessas áreas deixando as zonas de baixa vocação para infiltração destinadas ao adensamento construtivo; visava, ainda, preservar as áreas florestais, priorizando as espécies vegetais com elevado potencial ecológico para a região e utilização sistemas de drenagem não canalizados. A ideia era aproveitar a permeabilidade do solo associada ao sistema viário, o que concedia a implantação de uma infraestrutura de drenagem de maior resiliência.

O plano de McHarg para The Woodlands concedeu alta prioridade do ponto de vista da proteção das áreas de elevada permeabilidade e na implantação da drenagem do tipo aberta. O plano foi considerado até o ano de 1997, depois dessa data as áreas foram ocupadas em desacordo com as estratégias iniciais (YANG et al., 2015). Na Figura a seguir, são apresentados os períodos de implantação do plano de McHarg: (a) 1972-1985; (b) 1985-1997 e (c) pós 1997 (Figura 2)



**Figura 2** Solução de drenagem para infiltração em solos de elevada permeabilidade.  
Fonte: Hundt; Daniels (2016)

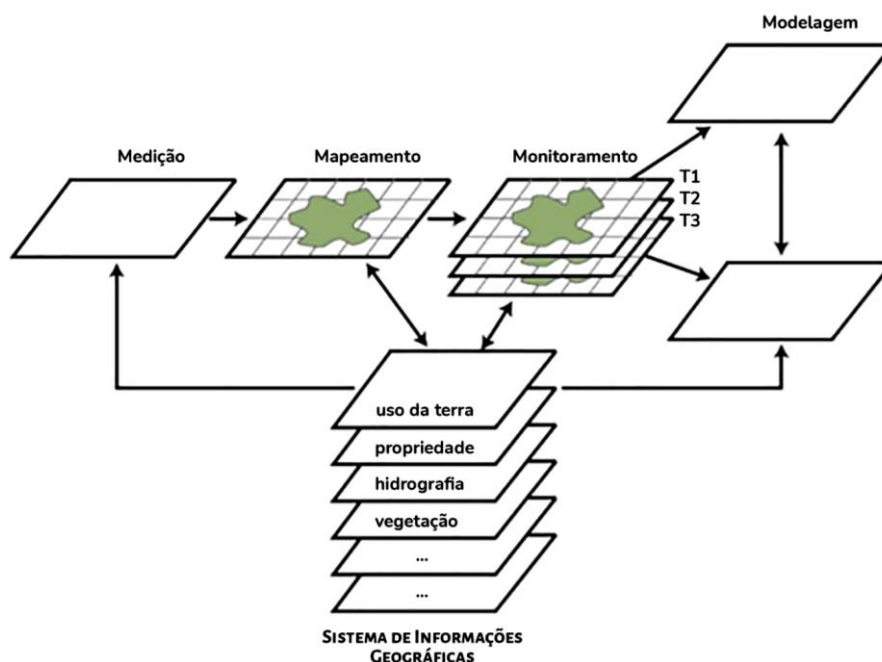
A abordagem contribui para o entendimento da função “das estruturas verdes sob a perspectiva ecológica” (SANT’ANNA, 2020 p.31), destacou que em um mesmo território há uma heterogeneidade de serviços ecossistêmicos, que precede a uma série de vocações, que ocasiona a necessária delimitação de áreas em acordo com as fragilidades e oportunidades do sítio, tal como a preservação e conservação de zonas de recarga de aquíferos. Dessa forma, a compreensão de adequar o uso e ocupação do solo em matriz urbana de acordo com os processos naturais intrínsecos, visando a manutenção dos serviços ecossistêmicos, especialmente os hídricos, fizeram o método de McHarg tornar-se base para a elaboração do planejamento ambiental urbano.

Portanto, conhecer as metodologias em desenvolvimento, que possam apoiar o planejamento urbano e que se enquadrem a realidade urbana, especialmente brasileira, e apontem de forma clara perdas e ganhos ambientais resultante no território, certamente tonará as políticas de gestão urbana mais assertivas e resilientes a partir da abordagem da identificação dos processos que atuam no ecossistema urbano.



Em síntese, o método proposto por McHarg evidencia os sítios em seu domínio antrópico e natural, estabelecendo um diagnóstico multidisciplinar interpretado com ênfase no significado sobre as necessidades humanas. Essa abordagem proporcionou duas inovações: (i) a organização do conhecimento dos cientistas ambientais por meio do emprego de uma cronologia, de um dado inicial até atual; (ii) a concepção inovadora, da representação em “camadas de informações”, onde se sobrepunham esses dados, todas reinterpretadas para explicar a hidrologia e a fisiografia dos aquíferos, para, em seguida, elucidar a hidrologia superficial, os solos, a vegetação, a fauna, culminando, finalmente, no uso do solo.

A abordagem metodológica de sobreposição de informações, Figura 3, se dá em quatro etapas: avaliação, mapeamento, monitoramento e modelagem, segundo a análise de SANT’ANNA (2020). Cada etapa do método de McHarg (1969) está apresentado na tabela 1, a seguir.



**Figura 3** Esquema proposto por Ian McHarg: medição, mapeamento, monitoramento e modelagem.  
Fonte: Sant’Anna (2020)

**Tabela 1** Método de McHarg (1969). Fonte: Sant'Anna (2020)

<b>Avaliação</b>	<b>Os processos naturais (clima, geologia, hidrologia, pedologia, vegetação e vida selvagem) e antrópicos (uso e ocupação do solo, identificação de marcos históricos e paisagísticos locais e de valores recreacionais) conFiguram um inventário cartográfico e fotográfico integrado, conFigurado em camadas que seriam precursoras dos sistemas georreferenciados da contemporaneidade.</b>
<b>Mapeamento</b>	como resultado da avaliação, são criados mapas temáticos a serem sobrepostos, que, por gradação de cores, avaliam o desempenho da paisagem em relação aos processos estudados.
<b>Monitoramento</b>	agrega a dimensão temporal sobre os aspectos estudados, compreendendo a paisagem por meio de seus processos, os quais também são consubstanciados em mapas para sobreposição, cortes e novas fotografias.
<b>Modelagem</b>	os resultados são discutidos por especialistas, visando à interdisciplinaridade necessária para discussão; essa modelagem consubstancia as propostas de planejamento da paisagem por meio de uma matriz que associa a compatibilidade entre usos e ocupação do solo em um mapa sintético de aptidões, norteador do planejamento, por meio de cenários de ocupação para cada área de estudo.

Deve-se destacar, entretanto, que o método do planejamento ambiental tem como pressuposto básico a escolha de áreas a urbanizar e estudo das suas aptidões à ocupação urbana e que sobre as zonas estabelecidas se dará a execução de um projeto urbanístico que por sua vez deve considerar as vocações e fragilidades do meio físico. Dessa forma, para que se concretize uma ocupação que promova a interação cidade e natureza os modelos e padrões urbanos devem possuir seus elementos dispostos em consonância com a estrutura ecológica do lugar.

### **1.3. Morfologia Urbana: Elementos constituintes dos padrões urbanísticos**

A morfologia urbana corresponde ao estudo das formas nas cidades e deve ser entendida como decorrência evolutiva das relações sociais, econômicas e também ambientais. (DEL RIO,1999; LAMAS, 2004, NETTO, 2014). O que se destaca para estudo da presente pesquisa se refere aos elementos físicos que compõe o conjunto que dará identidade visual as diferentes formas de ocupação do solo urbano e que de acordo com sua disposição, dimensões, e percentuais trarão diferentes impactos sobre o sistema ecológico do território.

De acordo com LAMAS (2004) pode-se associar a concepção morfológica a onze elementos: os edifícios, a fachada, o lote, o logradouro, o quarteirão, o traçado da rua, o monumento, a praça, as árvores e vegetação, solo (pavimento) e por fim o mobiliário urbano. A partir da junção desses elementos, se configuram: os parcelamentos urbanos, a estrutura fundiária, os espaços livres e os espaços construídos (PANERAI,2014; SILVA,2014; SANCHES,2020). Seu arranjo conforma padrões de interações diversas com a paisagem, frente a condicionantes sociais (histórico, político), econômicos (renda populacional, mercado imobiliário) e/ou ambientais (geomorfologia, hidrografia), Figura 4, a seguir.



**Figura 4** Construção dos Padrões Urbanísticos. Fonte: SILVA (2014)

Para o diálogo com o sistema ecológico, com vistas a efetivar padrões urbanos provedores de serviços ambientais hídricos, verifica-se que, a partir da junção dos elementos trazidos por LAMAS (2004) e sua conformação em padrões urbanos, o que ele denomina “vegetação” e “logradouro” são elementos que possibilitam o fator permeabilidade e os processos de infiltração no espaço público, os quais associam-se ao conjunto dos espaços livres públicos e/ou privados (SILVA,2014; SANCHES,2020), enquanto o “lote” se associa ao espaço privado, elemento que fundamenta o padrão urbano, podendo ou não ser munido do elemento qualificador vegetação.

Nesse sentido, a vegetação é um elemento de composição do padrão urbano que pode auxiliar na qualificação das cidades, já o “logradouro” se caracteriza como “resíduo, ou resultado dos acertos de loteamento e de geometrias de ocupação dos lotes” (LAMAS, 2004 p.98). Quando esses elementos, “lote e vegetação” e/ou “logradouro e vegetação”, estão em conjunto, há indicativos de

ser uma padrão urbano potencial para promoção de serviços ambientais hídricos em espaços privados ou públicos.

No que tange aos espaços os públicos existem poucas normas urbanísticas para sua definição, além do que está previsto na lei de parcelamentos, Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 e atualizações, que comporta apenas a definição da necessária delimitação de áreas integrantes do sistema viário e non aedificand com vistas a infraestruturas, não havendo articulação com tratamento e qualificação desse espaços livre público.

Quanto aos espaços privados (lotes) esses são regidos por um conjunto de parâmetros urbanos que são fiscalizados quando da aprovação de projetos edílios nos lotes (SILVA,2014). Esses são entendidos como afastamentos, recuos livres e a taxa de permeabilidade no interior do lote, os quais são áreas não ocupadas por construção. Aos recuos e afastamentos é discricionária a permeabilidade, no entanto, as taxas de permeabilidade possuem obrigatoriedade de possuírem solo permeável e preferencialmente vegetado.

Assim, dentre os parâmetros urbanos, caracterizadores do espaço livre privado, a taxa de permeabilidade é o instrumento conveniente do ponto de vista da provisão ambiental hídrica por ensejar contato com os processos naturais. Restando uma discussão sobre qual instrumento adotar para regular o tema nos espaços públicos.

Sendo assim, temos dois conceitos que merecem a caracterização, pois são fatores de importância para compreender a possibilidade de manutenção dos processos naturais hídricos em meio urbano: os espaços livres públicos com áreas verdes, e as taxas de permeabilidade, parâmetro de ambiente privado da estrutura urbana.

### **1.3.1. Áreas livres e verdes nos espaços públicos urbanos**

Como visto cada padrão urbanístico ou arranjo de elementos morfológico irá produzir diferentes percentuais e distribuição de áreas verdes dentro da cidade, mas o que são espaços livres e áreas verdes?

Os espaços livres e áreas verdes são termos comumente utilizados como sinônimos na literatura, mas possuem conceituações variadas (MACEDO,1995; LOBODA E ANGELIS,2005; BARGOS E MATIAS, 2011; LONDE E MENDES,2014; RUBIRA, 2016; STEINER,2016; SANCHES,2020). Com o propósito de se aprofundar no entendimento dos espaços livres com vegetação e delimitar um conceito do que se entende como áreas verdes urbanas, se faz necessário compreender o significado de ambos termos com base na bibliografia acadêmica e normativa, tanto urbano como ambiental.

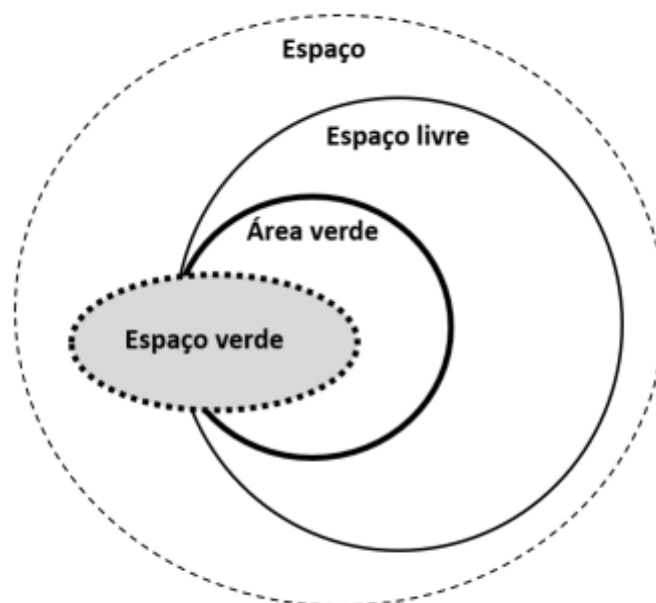
HIJIOKA et al., (2007.p 119), definem que “o espaço livre é todo espaço não contido dentro de um invólucro, são em contexto urbano: ruas, praças, parques, quintais, terrenos, calçadas, jardins e entre outros. Por sua vez, MACEDO (1995) destaca que os espaços livres urbanos são definidos como “todos aqueles não contidos entre paredes e tetos dos edifícios construídos pela sociedade para sua moradia ou trabalho” (MACEDO,1995 p.15).

Em resumo são todos aqueles espaços contidos em área urbana que não estão edificadas. Eles recebem as nomenclaturas “espaços livres urbanos” com “espaços livres de construção”. (SCHLEE et al.,2009; BUCCHERI FILHO E NUCCI 2006; NUCCI E CAVALHEIRO, 2006) e tais espaços podem ser privados, potencialmente coletivos ou públicos e podem desempenhar funções estética, de lazer e ecológico-ambiental (BUCCHERI FILHO; NUCCI, 2006).

CUSTÓDIO et al., (2011) pontuam que esses espaços se diferenciam em tipos ou categorias, pois irão desempenhar diferentes funções, de acordo com aspectos como a localização, físico-ambientais, dimensão, cobertura do solo.

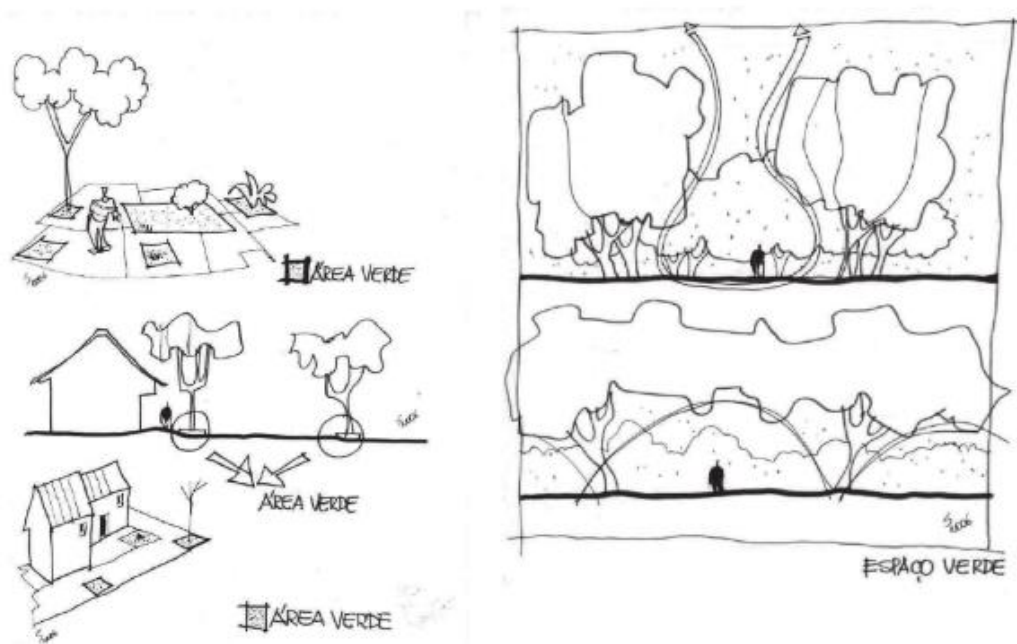
Já as áreas verdes urbanas são uma categoria específica de espaços livres, as quais podem desempenhar serviços ambientais e auxiliar na promoção da qualidade de vida e ambiental urbana (CAVALHEIRO E DELL PICHIA, 1992; LONDE E MENDES, 2014) sendo, portanto, as áreas verdes urbanas um subconjunto do espaço livre urbano.

No entanto, cabe ressaltar que nessa discussão há, ainda, distinção entre os termos Área Verde e Espaço Verde, onde Área Verde “é todo e qualquer área que contenha **vegetação situada em solo permeável**<sup>19</sup>” (grifo nosso) (HIJOKA et al., 2007 P. 120), e Espaço Verde é “estruturado total e predominantemente por vegetação, **e não necessariamente tem solo permeável**” (grifo nosso) (HIJOKA et al., 2007 P. 120). Os autores exemplificam que uma rua arborizada é um espaço verde e não uma área verde, pois é um espaço livre de edificação associada à estratos de áreas verdes (ver Figura 5 e 6 a seguir).



**Figura 5** Conjuntos e subconjuntos dos conceitos espaços livres e áreas verdes.  
Fonte: Hijoka et al., (2007)

<sup>19</sup> Solo permeável que permite o processo de infiltração natural das águas.



**Figura 6** Área verde e Espaço verde.  
Fonte: HIJOKA et. al., (2007)

Portanto, no contexto deste trabalho o que se busca avaliar na composição dos padrões urbanos no âmbito dos espaços públicos são as áreas verdes, por possuírem vegetação e permeabilidade, fatores para provisão de serviços ambientais hídricos. No sentido de fundamentar esse entendimento na tabela 2 a seguir, são elencados os conceitos da literatura acadêmica acerca das áreas verdes (LOBODA e ANGELIS, 2005; RIBEIRO,2008).

**Tabela 2** Conceituação do termo Áreas Verdes<sup>20</sup>.

<b>Autores</b>	<b>Conceito</b>
<b>Llardent (1982, p. 151)</b>	Qualquer espaço livre no qual predominam as áreas plantadas de vegetação, correspondendo, em geral, o que se conhece como parques, jardins ou praças.
<b>Lima et al., (1994, p.548)</b>	“...onde há o predomínio de vegetação arbórea; engloba as praças, os jardins públicos e os parques urbanos. Os canteiros centrais e trevos de vias públicas, que tem apenas funções estética e ecológica, devem, também, conceituar-se como Área Verde. Entretanto, as árvores que acompanham o leito das vias públicas, não devem ser consideradas como tal”.

<sup>20</sup> Cabe salientar que os conceitos elencados são de autores que concordam com a posição das áreas verdes incluírem-se em um subconjunto dos espaços livres.



---

<b>Macedo (1995, p.17)</b>	“...toda e qualquer área onde por um motivo qualquer exista vegetação. Esse termo também é comumente utilizado para denominar o conjunto de áreas de lazer público de uma cidade, englobando praças, parques, hortos. Não considera esta última denominação precisa, pois é sabido que nem todas as praças são áreas de lazer e/ou necessitam ser ajardinadas para desempenhar seu papel social.”
<b>Oliveira (1996, p.17)</b>	“...áreas permeáveis (sinônimo de áreas livres) públicas ou não, com cobertura vegetal predominantemente arbórea ou arbustiva (excluindo-se as árvores no leito das vias públicas) que apresentam funções potenciais capazes de proporcionar um microclima distinto, no ambiente urbano, em relação à luminosidade, temperatura, além de outros parâmetros associados ao bem estar humano (funções de lazer) com significado ecológico em termos de estabilidade geomorfológica e amenização da poluição, e que suporte uma fauna urbana, principalmente aves, insetos e fauna do solo (funções ecológicas); representando também elementos esteticamente marcantes na paisagem (função estética).“
<b>Loboda et al.,. (2005, p.125)</b>	“...são os espaços públicos vegetados representados hoje pelos parques, praças, jardins públicos e arborização de acompanhamento viário”, e <b>apresentam função ecológica, estética e social.</b> ”
<b>Guzzo et al.,. (2006, p.21)</b>	“...as áreas não edificadas de uma cidade, de propriedade pública ou particular, independente de sua destinação de uso, são chamadas de espaços livres urbanos. Os de propriedade pública, quando destinados à conservação ambiental e implantação da vegetação, associados ou não ao lazer público, são denominados de áreas verdes públicas. As áreas verdes particulares se diferenciam das públicas por não permitirem a si o acesso livre das pessoas. Há ainda aquelas de domínio público que oferecem restrições quanto à acessibilidade, caso dos campi de universidades públicas, denomina das potencialmente coletivas. As áreas verdes são, portanto, um tipo especial de espaço livre urbano onde os elementos fundamentais de composição são a vegetação e o solo livre de impermeabilização. Espaços não vegetados ou construídos para abrigar equipamentos de lazer e de infraestrutura são encontrados em muitas praças, parques e jardins públicos, mas nem por isso deixam de se constituir em espaços livres de uso público. <b>Apregoa-se que uma área verde deva ser constituída de pelo menos 70% do seu espaço por áreas vegetadas com solo permeável.</b> ”
<b>Hijioka et al.,. (2007.p 119)</b>	Área verde é toda e qualquer área que contenha vegetação situada em solo permeável. Essas áreas seriam uma categoria dos espaços livres de edificação.
<b>Benini e Martin (2011, p.77)</b>	“...área verde pública é todo espaço livre (área verde/lazer) que foi afetado como de uso comum e que apresente algum tipo de vegetação (espontânea ou plantada), que possa contribuir em termos ambientais (fotossíntese, evapotranspiração, sombreamento, permeabilidade, conservação da biodiversidade e mitigue os efeitos da

---

---

poluição sonora e atmosférica) e que também seja utilizado com objetivos sociais, ecológicos, científicos ou culturais.”

---

**Bargos e Matias (2011, p.185)**

“...áreas verdes urbanas deve considerar que elas sejam uma categoria de espaço livre urbano composta por vegetação arbórea e arbustiva (inclusive pelas árvores das vias públicas, desde que estas atinjam um raio de influência que as capacite a exercer as funções de uma área verde), **com solo livre de edificações ou coberturas impermeabilizantes (em pelo menos 70% da área), de acesso público ou não, e que exerçam minimamente as funções ecológicas (aumento do conforto térmico, controle da poluição do ar e acústica, interceptação das águas das chuvas, e abrigo à fauna)**, estéticas (valorização visual e ornamental do ambiente e diversificação da paisagem construída) e de lazer (recreação).”

---

Em termos gerais, ao avaliar as conceituações acerca do termo áreas verdes, verifica-se que o desempenho ecológico comparece entre suas funcionalidades, especialmente a permeabilidade e a cobertura vegetal e é indicado, de forma recorrente, um percentual de 70% de área vegetada e permeável para que a área livre seja considerada área verde.

Como já referido, a definição das áreas verdes nas cidades ainda se mostra dissociada dos processos naturais da infraestrutura ecológica, pautando-se, majoritariamente, em questões socioeconômicas como relações com as densidades ou número de habitantes urbanos (LOBODA E ANGELIS, 2005; RIBEIRO, 2008; RUBIRA, 2016).

Contudo, ao recordar o contexto histórico do advento da legislação urbana brasileira, ressalta-se que, conforme abordado por RIBEIRO (2008), as áreas verdes urbanas nos anos 70 abarcavam princípios da utilização humana ativa como recreação e funções estéticas e estavam pautadas pelos pilares do modernismo: habitar, trabalhar, recrear e circular.

Na legislação de parcelamento do solo, já referida, que data dos anos 70, se mantém os princípios dos espaços livres de uso público com o intuito de prover serviços sociais de lazer, cultura para a população<sup>21</sup>, restringindo o potencial de

---

<sup>21</sup>“ Art. 22. Desde a data de registro do loteamento, passam a integrar o domínio do Município as vias e praças, os espaços livres e as áreas destinadas a edifícios públicos e outros equipamentos urbanos, constantes do projeto e do memorial descritivo.” (Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, alterada pela Lei nº 9.785, de 29 de janeiro de 1999 alterada pela Lei nº 9.785, de 29 de janeiro de 1999)

provisão ambiental em detrimento de pautas socioculturais, pois a definição de espaços livres que a legislação traz, relaciona-se à percentuais, os quais não necessitam associar-se a uma infraestrutura ecológica capaz de prover serviços ambientais. Assim, se desloca a base de infraestrutura ecológica da ocupação ficando a definição por conta de percentuais.

#### **1.3.1.1. Considerações das funções ecológicas de áreas verdes urbanas e unidades de conservação em área urbanas**

Contemplar a manutenção dos ciclos naturais na definição dos padrões urbanísticos e por consequência no percentual, forma e manutenção das áreas verdes, implica um direcionamento para além das relações humanas, mas com o propósito em função da infraestrutura ecológica nas cidades, em que sua categorização se pautaria no desempenho do serviço ecossistêmico intrínseco à área, mas, como visto, a própria definição de áreas verdes urbanas não integra a legislação urbana no Brasil.

Dessa forma, vincular o conceito de áreas verdes urbanas à provisão dos serviços ambientais, em prol de associar cidade e natureza, são pautas trazidas pós década de 1970 e por isso a revisão do Código Florestal de 1965, que passou a vigorar como Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012, trouxe como inovação a necessidade de preservar os ambientes urbanos vegetados. A lei define que as áreas verdes urbanas são:

*“Espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais.” (BRASIL,2012)*

Entretanto, na prática da gestão urbana brasileira existe uma dissociação entre a legislação urbanística e a legislação ambiental no se reflete a gestão das políticas de ordenamento territorial. No caso das áreas verdes urbanas, devido ao fato do tema ser tratado somente pela legislação ambiental, a prática da gestão urbanística reduz o papel das áreas verdes urbanas na provisão dos serviços

ambientais, considerando somente as áreas classificadas como unidades de conservação e áreas de preservação como tendo esse fim, uma vez que essas são de competência da gestão ambiental.<sup>22</sup>.

Retomando a origem desse entendimento, que de resto é limitado, deve-se saber que a delimitação das unidades de conservação parte de uma situação ambiental fática onde a demarcação de uma poligonal de preservação e/ou conservação define os limites de proteção e manutenção de uma gama de serviços ecossistêmicos.

Nesse sentido, esse não é por definição um espaço urbano com as características de áreas verdes como acima apresentado. Não integra um padrão urbanístico, a exemplo de parques urbanos, praças verdes, canteiros viários com cobertura vegetal. Pois as áreas verdes urbanas surgem a partir da construção de um padrão urbano, fruto do desenho do urbanista e das normativas dos estudos no âmbito do Planejamento Urbano. O que se deve considerar é que essas normativas urbanísticas contemplem em sua definição a infraestrutura ecológica em harmonia com o estudo morfológico, “elementos de composição do desenho urbano” (LAMAS, 2004, p.106).

Face a isso o conceito de áreas verdes urbanas aqui adotado, **ambientes livres em área urbana, públicos ou privados, com cobertura vegetal e permeabilidade, com potencial de auxiliar na manutenção dos ciclos naturais**, busca conceder maior evidência ao associar a infraestrutura ecológica nas cidades com os elementos do desenho urbano. Nessa linha, para delimitar as categorias de áreas verdes urbanas capazes de auxiliar na manutenção dos ciclos naturais nas cidades, são necessários levantamentos e inventários dos serviços ecossistêmicos (BREUSTE,2013) ali produzidos, em acordo com as particularidades de cada região, fomentando o conhecimento sobre a infraestrutura ecológica local.

---

<sup>22</sup> As áreas protegidas e Unidades de Conservação tem suas funções delimitadas em normativas específicas, onde cada categoria possui um grau de preservação ou conservação, assim como um objetivo e uso determinado. A critério de informação a Lei n 9.985, de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) divide as unidades em dois grupos: as de proteção integral e as de uso sustentável, que envolve a categorização dessas unidades com objetivos que abarcam a pesquisa científica, preservação de biodiversidade, regulação da ocupação, entre outros.

A título de exemplo: as áreas verdes urbanas, estruturadas sobre solos com elevado potencial de infiltração, como os solos tipo A, de acordo com a classificação do método *US Soil Conservation Service (SCS)*<sup>23</sup>, seriam uma categoria capaz de melhor contribuição com a manutenção do ciclo hidrológico do que as áreas verdes que estão sobre solos do tipo C, dessa forma, a partir da associação área verde e solos de alta performance para infiltração, se constrói um subconjunto de áreas verdes urbanas de infiltração, com potencial de performar em favor dos processos de infiltração frente a sua estrutura ecológica de solos de alta permeabilidade.

Por outro lado, podem ser delimitadas as áreas verdes com potencial para produção de carbono. Por exemplo, as áreas verdes com cobertura de gramíneas (gramados) possuem “desempenho inferior da área em relação ao sequestro de carbono e a ausência de atributos para a sua instalação” (AMARAL, 2014 p. 137). Essa colocação remete a seguinte questão: não é qualquer tipo de área verde, a exemplo dos gramados, que possuem importância para desempenhar serviços no ciclo de carbono, no entanto, podem contribuir para prestação de outros serviços, tais como os de lazer e sociabilização.

De qualquer forma, se deve destacar que é possível o *retrofit* urbano se valendo de áreas livres que existem nas cidades já constituídas, para que essas passem a atuar como áreas verdes manejadas para associar funções, que possam contribuir de forma multifuncional<sup>24</sup>.

Frente a isso, as áreas verdes urbanas, de acordo com o conceito adotado nesta pesquisa e face a um contexto de necessária articulação dos processos naturais com o potencial do verde urbano, devem ser avaliadas e delimitadas com base no potencial de contribuir com a manutenção dos ciclos naturais e não em relação a função social e espacial do desenho do urbanista, mas a partir da

---

<sup>23</sup> O método SCS considera aspectos relacionados ao tipo de solo e o uso e cobertura do solo. O método categoriza os solos pedológicos em função do seu comportamento hidrológico, definindo, dessa forma, quatro grupos (Solos hidrológicos A, B, C e D), em que os solos tipo A são os de melhor condutividade hidráulica, maior permeabilidade. Esse método será melhor abordado no Capítulo 2, seção 3.

<sup>24</sup> De acordo com Sant’Anna (2020) A multifuncionalidade se apresenta como um princípio que visa articular o Mosaico Heterogêneo de Paisagem.

determinação do potencial de sua infraestrutura ecológica em manter ativo o desempenho dos ciclos naturais.

### **1.3.2 Áreas Livres e Verdes nos espaços privados**

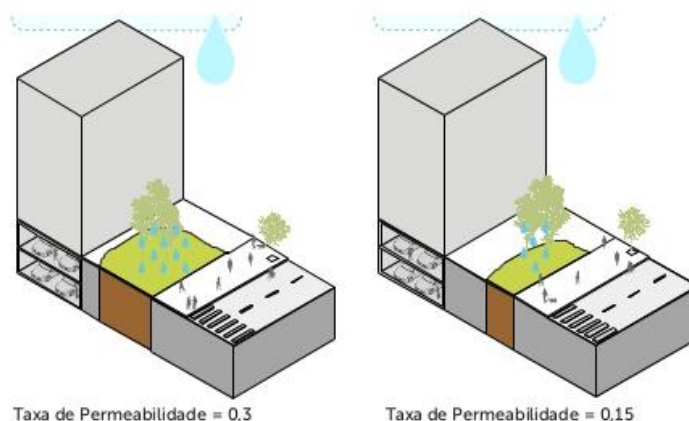
Os parâmetros urbanísticos são ferramentas de controle no campo da gestão e ordenamento territorial com desdobramentos sobre a propriedade individual que LAMAS (2004) denomina como lote, inseridos em um determinado parcelamento que conforma o padrão urbano. A constituição da forma urbana, a partir da delimitação dos parâmetros pode impactar de forma positiva ou negativa (SOUZA,2012; BEZERRA,2016).

No contexto de auxiliar a provisão de serviços ambientais hídricos, como visto anteriormente, o parâmetro taxa de permeabilidade, Figura 7, é o dispositivo de cunho privado que auxilia no ciclo hídrico e tem o intuito de contribuir com a infraestrutura de drenagem tradicional<sup>25</sup>, de forma a conter, por meio do processo natural de infiltração no interior dos lotes, uma parcela das águas pluviais que escoam para as sarjetas das ruas e posteriormente vão para os condutos de drenagem. Além de favorecer outros serviços ambientais como a melhoria do conforto ambiental, a qualidade do ar e a redução das ilhas de calor.

De concepção recente no percurso do urbanismo, as taxas de permeabilidade hoje são definidas de acordo com os parâmetros de uso e ocupação do solo nos Planos Urbanos e seus percentuais não possuem diretrizes claras para definição e, se pode dizer, a partir da prática, que estejam associados ao tamanho do lote que por sua vez possui relação com as características socioeconômicas de cada zona urbana.

---

<sup>25</sup> Abarca a infraestrutura para controle e captação das águas pluviais, envolve os elementos: condutos, galerias, canais, meio-fios, sarjetas, poços de visita, por exemplo. Quanto maior for o grau de permeabilidade, menor será o escoamento superficial que as redes de drenagem necessitarão captar.



**Figura 7** Parâmetro taxa de permeabilidade aplicado em áreas urbanas.  
Fonte: PDE- SP Ilustrado (2014)

Por envolver campos diversos na matriz urbana a taxa de permeabilidade tem sido utilizada como indicador de sustentabilidade para as cidades, pois contribui com a avaliação dos impactos da urbanização no regime hidrológico como alagamentos, inundações e desmoronamentos (WHITFORD et al.,2001; KAUFFMAN et al., 2003). Nesses casos, a gestão urbana e territorial deve avaliar, antes da delimitação dos usos e da regulação das taxas de permeabilidade, aspectos de: geologia, pedologia, hidrologia, hidrogeologia, cobertura vegetal, se área tem potencial de recarga de aquífero ou não.

Assim, quando a taxa de permeabilidade é estabelecida de forma dissociada de sua infraestrutura ecológica não só se infringe uma restrição urbanística a um lote como não contribui com serviços de infiltração de forma relevante, que é seu objetivo finalístico. No entanto, deve-se destacar que correlacionar as taxas de permeabilidade com o sítio físico e o potencial de infiltração em áreas diversas ainda se mostra algo complexo e não linear (SERAPHIM,2018 apud JACOBSON,2011).

A delimitação das taxas de permeabilidade, quando dissociadas de seu potencial ecossistêmico ocasionam impactos não só para a área do lote ou infraestrutura implantada: A impermeabilização de cerca de 7% da área do lote pode duplicar o escoamento superficial, em casos extremos, em que há impermeabilização quase que total do lote, cerca de 80%, estima-se um aumento oito vezes maior que o escoamento superficial natural (TUCCI,2008). Essas altas taxas de

impermeabilidade intra-lote, provenientes da não avaliação do meio físico, ou da falta de monitoramento dos percentuais recomendados, ocasionam escoamento superficial em toda bacia hidrográfica. Em bacias urbanas com taxas 50% a 90% de impermeabilidade cerca de 40% a 80% da precipitação é transformada em escoamento superficial, enquanto em área permeáveis florestadas ocorre cerca de 13% de perda (BONAN,2015).

A regulação dessas taxas se mostra um fator de importância no contexto da provisão ambiental hídrica na gestão urbana, especialmente no desenho de padrões urbanos que se articulam de forma resiliente com a infraestrutura ecológica, abarcando uma gama de categorias hídricas como o abastecimento público, controle das erosões, recarga dos aquíferos e controle do escoamento superficial.

Portanto, de acordo com o conceito de área verde urbana delimitado, as áreas percentuais que abarcam o parâmetro permeabilidade, quando associadas a cobertura vegetal, por estarem inseridas na escala do lote, podem ser categorizadas como áreas verdes urbanas privadas.



## **CAPÍTULO 2 | Serviços ecossistêmicos e ambientais hídricos: conceitos e características da infraestrutura ecológica**

Este capítulo, dado o escopo da pesquisa que trata do potencial das áreas verdes, em prover serviços ambientais hídricos, visa elucidar alguns conceitos ligados ao surgimento de Serviços Ecossistêmicos e também o de Serviços Ambientais bem como o entendimento desses serviços no que se refere ao tema hídrico. Na sequência se discute o potencial do território no que tange a sua infraestrutura ecológica para prover serviços ecossistêmicos hídricos que constitui a base para os estudos analíticos no decorrer da pesquisa.

### **2.1. Bases conceituais dos Serviços Ecossistêmicos e Ambientais**

Serviços Ecossistêmicos (SE) e Serviços Ambientais (SA) derivam de uma mesma discussão, no entanto, são conceitos que possuem suas especificidades. O primeiro remete as funções, contribuições da natureza, sendo um processo intrínseco a infraestrutura ecológica, que pode (ou não) proporcionar benefícios socioeconômicos, é o valor em si da natureza. Por outro lado, os Serviços Ambientais são iniciativas humanas, de manejo, preservação, melhoramento, que visam a manutenção dos ecossistemas e de seus serviços ecossistêmicos por meio de estratégias mais resilientes em função da infraestrutura ecológica. Portanto, são conceitos interligados, mas que devem ser entendidos de forma diversa, pois os Serviços Ecossistêmicos ocorrem independentemente de sua utilidade humana e os Ambientais correspondem a uma ação sobre os ecossistêmicos (DISTRITO FEDERAL, 2017).

Desde a colocação da temática ambiental essa discussão faz parte dos estudos acadêmicos, mas só de modo mais recente passou a figurar como debate para o grande público, em especial no âmbito da formulação de políticas públicas territoriais urbanas.

O termo Serviços Ecossistêmicos aparece pela primeira vez em 1981 na publicação de Ehrlich e Ehrlich<sup>21</sup> (HEJNOWICZ,2015; CHMURA et al., 2015; COSTANZA et al.,2017; EMBRAPA,2019). No entanto, deve-se destacar que de modo precursor em 1977, em uma publicação de Westman<sup>22</sup>, o termo Serviços

da Natureza já havia sido utilizado com o mesmo sentido de estabelecer o papel da natureza como função necessária para o desenvolvimento de diferentes atividades humanas. HEJNOWICZ (2015) afirma que, originalmente, a abordagem dos serviços ecossistêmicos nasceu a partir de um recente ramo da economia denominado economia ambiental ou ecológica. Entretanto, GÓMEZ-BAGGETHUN et al., (2010) apontam que a economia clássica, de algum modo, já destacava a concepção econômica dos benefícios da natureza no que se refere aos valores de troca. COSTANZA (2017), reconhece que os serviços ecossistêmicos são a junção da disciplina da ecologia com a economia, o que contribuiu para o surgimento de um novo campo de atuação transdisciplinar, a economia ecológica.

Em virtude da junção da ecologia e economia, os benefícios da natureza, agora tratados como um serviço, tornou-se possível valorar e demonstrar as perdas, de forma tangível, dos recursos ambientais frente às demandas por capital natural, seja devido aos diferentes processos de exploração econômica ou de urbanização. A valoração dos recursos – ar, água, vegetação, biodiversidade, clima – como serviço possibilitou a mudança de paradigma, e o entendimento de serviço ecossistêmico contribuiu para atração de dinâmicas políticas, no âmbito público e privado, em prol da conservação da natureza. De forma percussora nos Estados Unidos<sup>26</sup>, a visão econômica sobre os recursos naturais induziu a implantação de projetos para provisão de serviços ambientais mediante pagamento, que tinha como objetivo a produção e manutenção da qualidade da água em áreas de recarga de aquíferos, a fim de reduzir custos no tratamento a partir da conservação das nascentes em áreas rurais. Esse modelo de pagamento por Serviços Ambientais popularizou-se mundialmente, sendo ainda uma prática implantada em áreas de uso do solo rural e, em sua maioria, tendo o recurso água como objeto de provisão nas iniciativas (EMBRAPA, 2019).

A partir da década de 1990 com a expansão do conhecimento de que toda e qualquer atividade de uso e ocupação do território é dependente da manutenção do funcionamento dos ecossistemas, o tema de preservação da natureza passou

---

<sup>26</sup> Conservation Reserve Programa em 1985.

a integrar a esfera político-administrativa e acadêmica sendo, hoje, a conceituação dos serviços ecossistêmicos e ambientais<sup>23</sup> uma síntese do desafio a ser enfrentado para uma reconversão das formas de produção e consumo nas diferentes áreas.

COSTANZA et al., (1997), elaboraram uma abordagem<sup>24</sup> de quantificação do valor dos ecossistemas mundiais; o intuito do artigo era demonstrar que os sistemas naturais preservados produziam valores mais significativos do que quando devastados, desta forma os autores estimaram os serviços ecossistêmicos, em valores monetários, como forma de elucidar e tornar mais palpável o entendimento da necessária conservação dos ecossistemas.

Entre o fim de 1990 e o início dos anos 2000, o conceito de SE obteve maior engajamento na iniciativa pública e privada dada sua visão econômica. O marco referencial que determinou esta mudança de paradigma, foi a publicação da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MA)<sup>25</sup> (GÓMEZ-BAGGETHUN et al.,2010; HEJNOWICZ,2015; MCDONOUGH et al.,2017), idealizada no âmbito da Organização Mundial das Nações Unidas (ONU), com vistas a integração do conceito na política ambiental e nos processos de tomada de decisão (HEJNOWICZ,2015). Os estudos do MA foram iniciados em 2001, com resultados publicados no ano de 2005. Desde então, há uma literatura rica e em rápido crescimento sobre serviços ecossistêmicos (ZHANG et al., 2019), assim como o desenvolvimento de outros relatórios de base científica para formulação de políticas e a progressão quanto ao desenvolvimento de iniciativas para provisão de Serviços Ambientais.

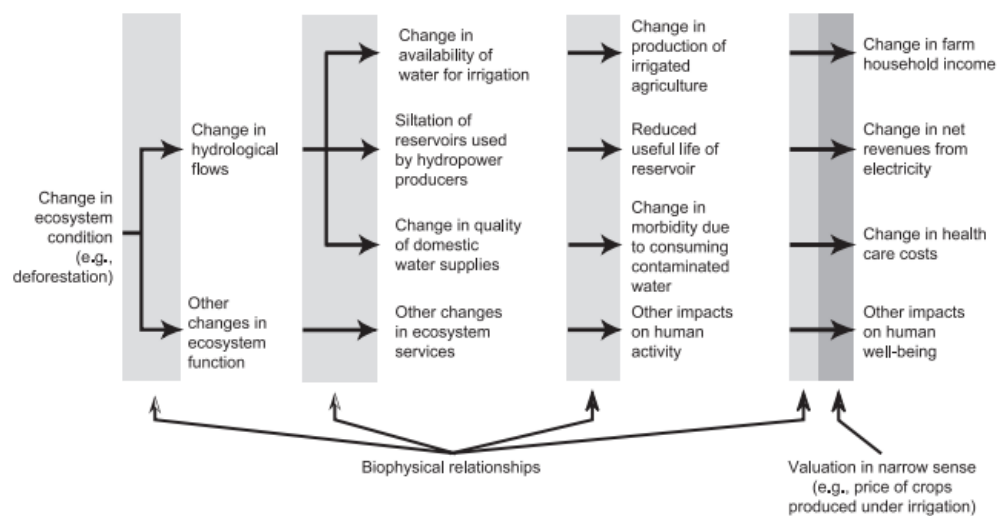
A Avaliação Ecossistêmica do Milênio iniciada em 2001 e publicada em 2005, incluiu a participação de especialistas<sup>27</sup> de diferentes países expondo as tendências dos ecossistemas mundiais e dos serviços que eles fornecem e as opções para restaurar, conservar ou melhorar o uso sustentável dos ecossistemas (MA,2005). Dessa forma, a MA, teve como objetivos (i) avaliar as consequências nas mudanças dos ecossistemas, (ii) estabelecer uma base de

---

<sup>27</sup> Embrapa 2019 cita mais de 2mil pesquisadores, no entanto a publicação do MA (2005) cita 1360 pesquisadores participantes da avaliação.

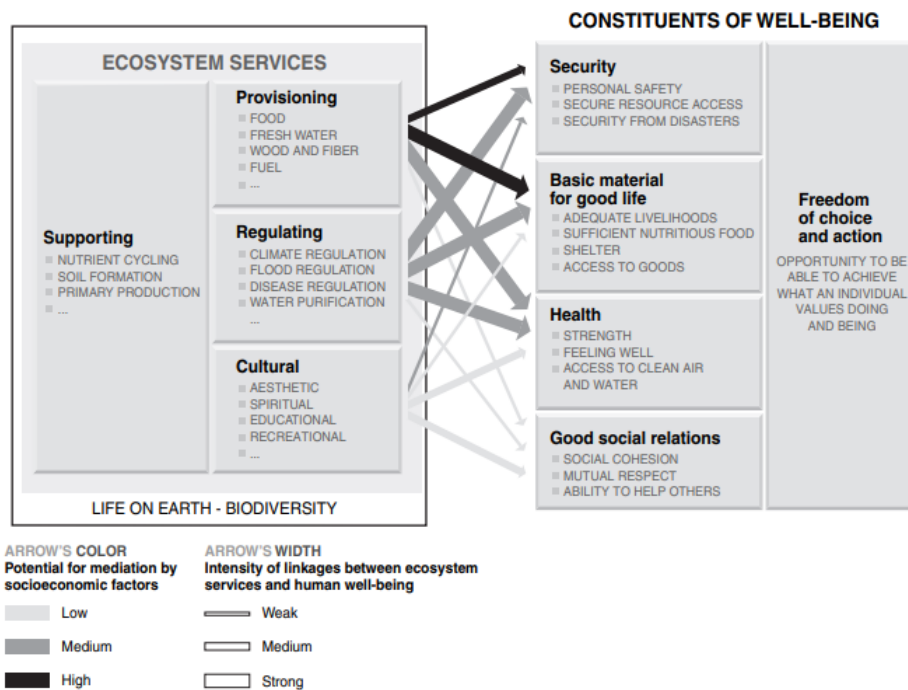
conhecimento em abordagem ecossistêmica e (iii) traçar mecanismos para ação política com base científica, com vistas a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas para o bem-estar humano.

Fundamentado nas pesquisas que subsidiaram a construção do Relatório da MA, pôde concluir que as ações humanas esgotavam o capital natural, como exemplificado na Figura 8. O Relatório estabeleceu uma das definições de maior aceitação sobre serviços ecossistêmicos sendo: os benefícios obtidos dos ecossistemas. Esse conceito se alinha com o já apontado por COSTANZA (1997).



**Figura 8** Impacto no ciclo hidrológico devido às mudanças na cobertura pelo desflorestamento.  
Fonte: Capítulo 2, MA(2005)

A MA também propôs uma classificação, dividindo-os em quatro categorias que são definidas pela variedade de benefícios que os seres humanos captam a partir dos ecossistemas, a saber: provisão, regulação, cultura e suporte, Figura 9.



**Figura 9** Interação entre os serviços ecossistêmicos e o bemestar humano.  
Fonte: Capítulo 1, MA(2005)

Os serviços de (i) **provisão** estão associados ao: alimento, combustível, recursos genéticos, água limpa e fresca, fibras; (ii) os de **regulação**, envolvem processos do ecossistema, tais como a regulação climática, o controle de erosão, manutenção da qualidade do ar e do ciclo da água, englobando sua purificação hídrica; em relação à (iii) **cultura**, representa um elemento não material, o qual é desenvolvido ao apreciar uma paisagem natural, a conexão espiritual e ritualística com a natureza, a recreação e o desenvolvimento educativo em meio aos recursos naturais; por fim, (iv) o **suporte** envolve um campo de maior abrangência que os demais, por englobar serviços que são necessários a produção dos anteriores, como a produção de oxigênio, ciclagem de nutrientes e formação dos solos.

Embora a Avaliação Ecosistêmica do Milênio tenha propiciado uma base conceitual sobre dependência ecológica da humanidade, outras iniciativas, acerca dos SE com vistas a diminuição de suas perdas foram elaboradas. No quadro 2 a seguir, são apresentadas algumas das contribuições posteriores a MA, no âmbito internacional e nacional:

**Quadro 1** Plataformas de pesquisa acerca da temática dos serviços ecossistêmicos.

Fonte: Adaptado de Costanza et al., (2017); McDonough et al. (2017); Lima (2019);

Iniciativas Internacionais e nacionais	Descrição
The Economics of Ecosystems and Biodiversity Project (TEEB) -2008	Surge a partir dos preceitos da MA e tem como foco <i>“melhorar a compreensão do real valor econômico fornecido pelos serviços ecossistêmicos”</i> (TEEB,2008), traçando estratégias para formulação de políticas públicas eficazes. Busca que a tomada de decisões em todos os níveis e considere os benefícios prestados pelos ecossistemas. O TEEB teve atuação e pesquisa no Brasil. <a href="http://teebweb.org/">http://teebweb.org/</a>
EU Biodiversity Strategy to 2020- The European Commission - 2011	Por meio das Estratégias de Biodiversidade para a União Européia -2020 houve o estabelecimento de uma gama de objetivos para gestão dos serviços ecossistêmicos, bem como orienta o estados membros a pesquisarem e assegurar políticas públicas a fim de evitar perdas. Essa iniciativa inclui desdobramentos como o Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES), para avaliar e mapear os serviços ecossistêmicos. <a href="http://biodiversity.europa.eu">http://biodiversity.europa.eu</a>
Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) - 2012	Composta pelos países membros das Nações Unidas, visa fortalecer a política acerca da biodiversidade e serviços ecossistêmicos com vistas ao bem estar humano e o desenvolvimento sustentável. <a href="http://www.ipbes.net">http://www.ipbes.net</a>
The Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) -2013	Desenvolvida para promover uma classificação internacional comum acerca dos serviços ecossistêmicos, com vistas a deixar mais clara as análises das informações quanto ao capital natural. <a href="https://cices.eu/">https://cices.eu/</a>
National Ecosystem Services Classification System (NESCS)	Possui uma abordagem semelhante a CICES, desenvolvida pela Environmental Protection Agency (EPA), com vistas a criação de uma abordagem multidisciplinar acerca dos serviços ecossistêmicos, articulando o entendimento ecológico com as áreas das ciências sociais, com o bem estar humano. <a href="https://www.epa.gov/eco-research/national-ecosystem-services-classification-system-nescs-plus">https://www.epa.gov/eco-research/national-ecosystem-services-classification-system-nescs-plus</a>
Rede de Pesquisa em Serviços Ambientais (Embrapa) - 2011	“Troca de experiências entre grupos de pesquisa da Embrapa atuando nos diferentes biomas, parceiros externos e produtores rurais” (Embrapa) <a href="https://www.embrapa.br/tema-servicos-ambientais">https://www.embrapa.br/tema-servicos-ambientais</a>

Projeto Geo Cerrado	Iniciativa desenvolvida pela Embrapa <sup>28</sup> teve como objetivo desenvolver modelo para caracterizar a prestação de serviços ambientais, com foco no ambiente agrícola, na região do cerrado brasileiro. <a href="http://www.cpac.embrapa.br/projetos/geocerrado/">http://www.cpac.embrapa.br/projetos/geocerrado/</a>
Tendências em Serviços Ecosistêmicos (TeSE)- 2013:	Com o objetivo de auxiliar a inserção dos serviços ecosistêmicos como capital natural no campo do setor empresarial brasileiro, desenvolvida pela Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas (GVces/EAESP-FGV). Empresas são associadas e auxiliam na quantificação, valoração econômica e não econômica dos serviços ecosistêmicos. <a href="http://tendenciasemse.com.br">http://tendenciasemse.com.br</a>
Matriz brasileira de serviços ecosistêmicos (Forest Trends) -2015	A Forest Trends (2004), no ano de 2015 criou a iniciativa da Matriz brasileira com o objetivo de incentivar a recuperação do serviços ecosistêmicos, assim como operacionalizar o pagamento por serviços ambientais. <a href="http://brazil.forest-trends.org">http://brazil.forest-trends.org</a>
BPBES – Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos - 2017	Com objetivo de trazer os conceitos dos serviços ecosistêmicos para o cerne do desenvolvimento do país em busca da conservação e métodos de uso sustentável da biodiversidade e serviços ecosistêmicos visando o bem estar humano de forma a promover o diálogo com diversos setores da sociedade, assim como o uso de práticas tradicionais. <a href="https://www.bpbes.net.br/en">https://www.bpbes.net.br/en</a>

As iniciativas político-administrativas internacionais e nacionais no campo dos serviços ecosistêmicos e ambientais, desenvolvidas a partir de um percurso teórico-metodológico tornam-se, atualmente, um arcabouço sobre o desenvolvimento das práticas mundiais quanto a quantificação, qualificação e valoração dos serviços ecosistêmicos e ambientais.

---

<sup>28</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, com foco em estudos de análises e tecnologias para o desenvolvimento agropecuário brasileiro.

### **2.1.1. Serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto urbano**

Ao mesmo tempo que se expande os estudos sobre serviços ecossistêmicos e ambientais, no que se refere a sua base conceitual e metodológica, também começam a se constituir abordagem para entender sua relevância em campos disciplinares específicos como o urbano. As iniciativas apresentadas no quadro 2 apontaram como problemáticas associadas as alterações dos ecossistemas pelos processos de urbanização, devido a alteração da cobertura da terra pelos diferentes usos tem se constituído em um campo de estudos que permeia a ecologia e o urbanismo. Decorrem desses estudos a necessidade de que o urbanismo e o planejamento urbano passem a conceber as áreas verdes urbanas como instrumentos de desempenho na prestação de serviços ambientais e auxiliar na redução dos impactos promovidos pela urbanização como erosões e alagamentos por exemplo.

Apesar de iniciativas de arquitetura da paisagem terem ocorrido desde o fim do século XIX, como visto no capítulo 1, a temática dos serviços ecossistêmicos e ambientais urbanos seguem seu protagonismo no plano internacional tendo surgido na década de 1990. Se iniciam com abordagens interdisciplinares relacionadas a questões como a regulação da temperatura, a moderação dos extremos climáticos e a gestão do recurso hídrico, ou seja, explorando aspectos de destaque para a sobrevivência humana (FITZUGH et al., 2004),

As abordagens mais difundidas no campo do ordenamento territorial urbano tem sido a Infraestrutura Verde (BONZI, 2017; MENEGUETTI, 2017; FIREHOCK E WALKER, 2019); Urbanismo da Paisagem (WALDHEIM, 2016) e o campo geral das infraestruturas baseadas na natureza. No campo da restauração ambiental urbana se destacam a Ecologia Urbana (FORMAN, 2015), Ecologia da Restauração (HOBBS, 2007), dentre outras. Em todas elas se destacam o papel das áreas verdes para a proteção dos serviços ecossistêmicos.

Apenas a título de exemplificação, na comunidade europeia existem Iniciativas como as da EU Biodiversity Strategy to 2020, que buscam integrar a temática dos serviços ecossistêmicos e ambientais nas políticas públicas dos diferentes países membros o que tem sido eficaz na busca pela mitigação dos impactos



urbanos. Dentre suas estratégias se destaca a instituição das infraestruturas verdes com o uso das áreas verdes urbanas, o monitoramento da arborização e dos espaços verdes, indicadores de desenvolvimento sustentável, entre outras. A partir das estratégias da EU cada país elabora seu plano de ação coerente com sua realidade.

Do ponto de vista metodológico os esforços de integração entre planejamento urbano e manutenção da provisão ecossistêmica pode ser visto na plataforma do TEEB que se tornou muito difundida no tratamento do tema. Na plataforma do TEEB, estabelecida em 2011, o tema urbano ganhou força com o lançamento do *Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management* que discorre sobre a associação dos campos das ciências ambientais na tomada de decisão das políticas de planejamento urbano. Enfatiza a relevância do levantamento dos serviços ecossistêmicos nas cidades como uma das etapas no processo de planejamento a partir do entendimento dos sistemas ecológicos e destaca o impacto das áreas verdes no bem-estar humano e na manutenção dos serviços ecossistêmicos urbanos tornando esse um tópico cada vez mais importante para estudo dos SE nas cidades (BREUSTE et al., 2013).

Quanto as iniciativas brasileiras as discussões de como promover políticas urbanas que considerem a garantia e promoção dos serviços ecossistêmicos é um desafio para as administrações municipais. Diferente da gestão territorial internacional, que associa as práticas ambientais à política da gestão urbana, no Brasil é comum os órgãos de ordenamento territorial desconsiderarem a pauta ambiental na gestão do território ao afirmar que não são matérias afetas a sua pasta entendendo o assunto como das secretárias de meio ambiente.

No Brasil se pode destacar na área do planejamento territorial e uso do solo ações na área rural<sup>29</sup>, como acontece com os programas de pagamentos por serviços ambientais, onde se destacam as iniciativas da Embrapa, constante do quadro 1. Esse trabalho ganha interesse nessa pesquisa pois está voltado ao estudo dos serviços ecossistêmicos e ambientais hídricos.

Verifica-se que frente as alterações de uso e cobertura do solo, proporcionadas pela ação humana, seja na urbanização ou agricultura, existem serviços que são especialmente relevantes e dentre eles se destaca os recursos hídricos, sendo uma das categorias dos serviços ecossistêmicos e ambientais, que podemos intitular como serviços ecossistêmicos hidrológicos ou hídricos e/ou serviços ambientais hidrológicos ou hídricos, a depender do contexto de análise, se com foco na infraestrutura ecológica ou nas práticas de intervenção humana.

No caso urbano os serviços ecossistêmicos e ambientais são entendidos como um conjunto que abarca desde o controle da erosão, do escoamento superficial até o mais obvio que é a própria disponibilidade hídrica e sua qualidade (POSTEL et al., 2005). Nesse sentido, discutir os arranjos urbanos (padrões urbanísticos) considerando a presença de áreas verdes em sua constituição é essencial para análise do desempenho do ciclo hidrológico adquirindo relevância no âmbito do planejamento urbano.

---

<sup>29</sup> Cabe ressaltar que na gestão pública brasileira a questão agrícola e ambiental foi por anos associadas a uma única pasta, sendo a temática das florestas e biodiversidade de fauna vinculadas ao Ministério da Agricultura. Somente nos anos 70, foi instituída uma Secretaria a nível federal para tratar da temática ambiental, frente a pressões de movimentos internacionais. Nas décadas subsequentes, foram estabelecidas políticas nacionais de meio ambiente, assim como a inclusão na Constituição Federal Brasileira de 1988, época em que também ocorre a descentralização da política ambiental e uma consequente estruturação de instituições estaduais e municipais de meio ambiente (Moura,2016). Na década de 90 iniciativas como a Eco 92 e a proposição da Agenda 21, elaborada a partir de 97, trouxeram uma nova ótica que, no entanto, ainda está em desenvolvimento por parte da política de ordenamento territorial, a qual, historicamente, carrega o mote habitacional, especialmente nas discussões acerca das políticas sociais, de regularização fundiária e de valorização das terras. Assim, na prática, o apelo social do acesso a moradia se sobrepõe a preservação ambiental e a pauta dos serviços ecossistêmicos em áreas urbanas. Diferente da gestão territorial internacional, que associa as práticas ambientais à política da gestão urbana. Dessa forma, no decorrer do desenvolvimento da política de gestão ambiental brasileira, assim como elevado investimento orçamentário à agricultura, há um maior engajamento por parte de instituições de políticas agrícolas, como a Embrapa.

## **2.2. Serviços Ecosistêmicos e Ambientais hídricos.**

Os serviços ecosistêmicos hídricos auxiliam na biodiversidade de flora e fauna, da mesma forma que fornecem bens para as atividades humanas. Seguindo a linha de categorização trazida pela Avaliação Ecosistêmica do Milênio, os principais serviços prestados pela água, conforme Smith et al., (2006) são: (i) abastecimento humano, produção de frutíferas, pecuária e piscicultura, medicamentos, energia proveniente de hidroelétricas, que estão vinculados a categoria de provisão, voltados ao fornecimento de alimento e aos fluxos de água; (ii) controle escoamento superficial, infiltração das águas no solo, manutenção dos fluxos de base, recarga de águas subterrâneas, prevenção de cheias, redução dos deslizamentos de terra, controle de erosão e sedimentação, controle da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, associados a categoria de regulação, associados aos fluxos ou redução de riscos relacionados a água; (iii) recreação aquática, paisagem patrimonial hídrica; inspiração artísticas e espiritual a partir dos cursos hídricos, são serviços relacionados a categoria cultural, de recreação e inspiração e (iv) os serviços vinculados a categoria de suporte, como o regime de fluxo hidrológico necessário para manutenção dos habitat da vida, apoio ao funcionamento do ecossistema hídrico. A Figura 3 a seguir ilustra as categorias e serviços apresentados.



- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 1. Controle de Sedimentos/ Vegetação   | 11. Regulação de base para irrigação |
| 2. Recreação, Pesca, reservatório de água  | 12. Refúgio de fauna                 |
| 3. Estação Hidroelétrica   | 13. Canal de irrigação               |
| 4. Manancial de água municipal   | 14. Captação de água por gravidade   |
| 5. Tratamento do esgotamento sanitário   | 15. Reservatórios de piscicultura    |
| 6. Outorga de captação para irrigação de alimentos e pecuária                            |                                      |
| 7. Barragem para captação  |                                      |
| 8. Canais de Irrigação   |                                      |
| 9. Zonas para Controle de inundação  |                                      |
| 10. Controle de erosão com uso de desvios, terraceamento<br>restauração de áreas úmidas. |                                      |

**Figura 10** Serviços Hídricos associados a uma bacia hidrográfica. Adaptado pela autora.  
Fonte: SMITH ET.AL (2006 P.17).

A partir dessa ampla listagem BRAUMAN et al., (2007), classifica os serviços ecossistêmicos hídricos em cinco categorias amplas como (i) abastecimento de água, que engloba o abastecimento humano para o desenvolvimento das atividades; (ii) abastecimento de água no corpo hídrico (in situ), relaciona-se a atividades efetuadas diretamente no manancial, como seu uso para pesca, navegação, energia. Diferente do anterior, esse não trata do consumo direto do recurso; (iii) mitigação de danos aos recursos hídricos, abarca a redução das

enchentes, alagamentos, inundações, assoreamento dos corpos hídricos; (iv) serviços culturais hídricos envolvem a estética, patrimônio, lazer e recreação e os (v) serviços de suporte hídricos, são associados ao crescimento da vegetação, habitats das espécies. Esses serviços, são impactados por uma gama de processos que ocorrem no ecossistema como: o consumo de água pela vegetação, infiltração ambiental, estabilização dos solos, cobertura do solo, velocidade do fluxo, entre outros, os quais influenciam os atributos: quantidade, qualidade, localização e tempo.

As intervenções sobre o território, sejam rurais ou urbanas, mediante alteração do uso e cobertura do solo, com impactos sobre a infraestrutura ecológica, conseqüentemente contribuem para alteração dos fluxos hídricos e no desempenho dos serviços potenciais (SMITH et al.,2006; BRAUMAN et al.,2007). Ao avaliar os serviços hídricos, como o caso do abastecimento humano, não se avalia apenas o quesito quantidade ideal de água, mas que seja disponibilizada com qualidade, no local e em tempo hábil. No entanto, quando os processos naturais nos ecossistemas são perturbados há impactos sobre seu desempenho, reduzindo a capacidade de provisão dos serviços hídricos. Essa relação de causa e efeito sobre o ciclo hidrológico, apontada nas tendências de perdas quanto aos serviços ecossistêmicos pela MA (2005), permeia o escopo da gestão e ordenamento territorial.

Como já apontado as alterações do uso e cobertura do solo para ocupação urbana não considerarem as infraestruturas ecológicas e, em especial, a capacidade de suporte dos recursos hídricos, promovem alterações substanciais no ciclo hidrológico. Índícios dessa afirmativa podem ser verificadas quando nas práticas do planejamento territorial se desconsideram a bacia hidrográfica como unidade territorial de análise para elaboração parâmetros de uso urbano. Vários estudos (BRAUMAN et al., 2007; ELMQVIST et al., 2013; CASTRO,2017; SERAPHIM, 2018; OLIVEIRA, 2019 SANCHES,2020; BRITO,2020) estabelecem a associação entre a provisão de serviços ecossistêmicos hídricos e o percentual de cobertura vegetal em áreas urbanas.

A associação dos serviços ecossistêmicos e o potencial dos arranjos urbanos como instrumento de serviços ambientais por meio dos percentuais de vegetação tem se mostrado convenientes para provisão hídrica, por possuírem elementos configuracionais passíveis de manter a continuidade dos processos hídricos ativos. Contudo, ao compreender que a cobertura vegetal munida de permeabilidade nas áreas urbanas contribui para os processos hídricos (POSTEL et al.,1997), se faz necessário avaliar como essa vegetação e permeabilidade comparecem na estrutura urbana a partir da caracterização ambiental e urbana.

### **2.3. Características urbano-ambientais para avaliação da provisão dos serviços ambientais hídricos em áreas verdes urbanas**

Como visto no capítulo 1 o planejamento ambiental promovido por MCHARG (1969), partia do levantamento fisiográfico para tomar decisões sobre ocupação territorial. Em síntese levava em consideração as bases ecológicas para endereçar padrões urbanos antecipando o que mais tarde se chamaria um planejamento territorial com a provisão de serviços ambientais. Mais uma vez seu método foi percussor assim como sua ênfase no estudo da rede hídrica para definir sobre uso do solo.

No que tange aos serviços ambientais hídricos dispomos hoje de modelagem que permitem entender as características hidrológicas e, também, as alterações que são produzidas pelas diferentes formas de uso do solo sobre os recursos hídricos nos indicam os fatores intervenientes que são relevantes para entender as estruturas de integridade do ciclo hidrológico e por conseguinte do provimento dos serviços ecossistêmicos hídricos. Alguns exemplos desses modelos são: SWAT – Soil and Water Analysis Tool; SWMM- Storm Water Management Model.

Os parâmetros utilizados para montar esses cenários podem ser separados em: (1) parâmetros naturais, relacionados com características da, vegetação, clima, geomorfologia e hidrogeologia, como declividade, localização e tamanho das drenagens naturais, profundidades dos aquíferos, presença de nitrato e fósforo no solo, umidade inicial do solo, radiação solar, temperatura, velocidade dos ventos,

umidade do ar, intensidade e volume da chuva, condutividade hidráulica saturada e capacidade de campo do solo, tipos de cobertura vegetal natural, entre outros; e (2) parâmetros relacionados a antropização das áreas, medidos normalmente de acordo com o tipo de cobertura do solo onde são levados em consideração cenários urbanos de diferentes densidades construtivas ou percentuais de áreas impermeabilizadas e a relação estatística entre a configuração dessas áreas e coeficientes de escoamento superficial.

Com o intuito de entender as bases de análise para o provimento desses serviços serão detalhados aqui os que se referem ao meio natural com ênfase em: (i) Clima, (ii) Geomorfologia e geologia; (iii) Pedologia e (iv) Uso e Cobertura do Solo.

Para definição do clima de uma determinada região são considerados: a radiação solar, temperatura, velocidade e direção dos ventos, precipitação, umidade e camadas atmosféricas (MOTA,2011), os quais tem influência explícita sobre o ciclo hidrológico. Os fatores climáticos são fortemente influenciados pelo processo de urbanização, especialmente quando há variação em suas características ambientais como a alteração do uso e cobertura do solo, com a substituição das áreas vegetadas por superfícies impermeáveis, ocasionando o aumento da temperatura e redução da umidade relativa do ar (LOMBARDO, 1985; FERREIRA,2019)<sup>30</sup>. A alteração de uso do solo, especialmente o aumento da densidade construtiva e verticalização de edifícios, modifica pela metade a velocidade média dos ventos (XAVIER et al., 2008), no entanto, a densidade construtiva vertical, associada a uma maior disponibilidade de áreas verdes urbanas, apresenta menores temperaturas superficiais em relação a outras tipologias urbanas (FERREIRA,2019).

Frente a esse cenário de alterações climáticas, há o impacto direto sobre a precipitação, fator climático imediatamente relacionado à disponibilidade hídrica, que tem demonstrado, ao longo dos anos, alterações no padrão pluviométrico, onde há menor distribuição das chuvas ao longo dos anos com intensidades elevadas e concentradas, condição que impacta a provisão de serviços

---

<sup>30</sup> Há expectativa de aumento do aquecimento de 1,5°C entre 2021 e 2040 (IPCC,2021).

ecossistêmicos hídricos, como a recarga dos aquíferos, responsáveis pela manutenção dos leitos de base dos cursos hídricos superficiais. Nesse sentido, para avaliar a provisão dos serviços ecossistêmicos hídricos importa observar e quantificar, no contexto dos fatores climáticos, a distribuição da precipitação de acordo com a região de interesse, esses dados são fundamentais para estudos hidrológicos e para a averiguação dos impactos sobre a provisão hídrica (ADASA,2018).

A geomorfologia<sup>31</sup>, que se debruça sobre as dinâmicas do relevo e suas formas (MOTA,2011), contribuem com o comportamento do caminho das águas na superfície, velocidade do escoamento e a infiltração (BRITO,2020) a depender de seus compartimentos, se planícies, depressões, tabuleiros, chapadas, patamares, planaltos e serras<sup>32</sup>. Compreender as características do relevo, como a declividade, é fundamental para avaliar a capacidade de provisão dos serviços ecossistêmicos hídricos em determinadas regiões.

A declividade do relevo é um fator preponderante no processo de produção hídrica, através da infiltração das águas escoadas sobre o relevo. Em metodologia elaborada por GONÇALVES (2007) o processo de recarga ocorre mediante o produto da relação entre a disponibilidade hídrica e a declividade, a qual a autora constatou que declividades de 0 a 8% possuem taxa de infiltração 95% da capacidade de retenção dos solos, enquanto declividade entre 15 a 30% possuem taxa de infiltração 45% da capacidade de retenção dos solos, tabela 3 a seguir.

---

<sup>31</sup> Importa diferenciar que a geologia abarca a estrutura e os processos internos e externos dos relevos e a geotecnia abrange as características dos solos, rocha e terreno (MOTA,2011).

<sup>32</sup> “Planícies são conjuntos de formas de relevo planas ou suavemente onduladas, em geral posicionadas a baixa altitude, e em que processos de sedimentação superam os de erosão. Tabuleiros e chapadas são conjuntos de formas de relevo de topo plano, elaboradas em rochas sedimentares, em geral limitadas por escarpas; os tabuleiros apresentam altitudes relativamente baixas, enquanto as chapadas situam-se em altitudes mais elevadas. Depressões são conjuntos de relevos planos ou ondulados situados abaixo do nível das regiões vizinhas, elaborados em rochas de classes variadas. Os patamares são relevos planos ou ondulados, elaborados em diferentes classes de rochas, constituindo superfícies intermediárias ou degraus entre áreas de relevos mais elevados e áreas topograficamente mais baixas. Os planaltos são conjuntos de relevos planos ou dissecados, de altitudes elevadas, limitados, pelo menos em um lado, por superfícies mais baixas, onde os processos de erosão superam os de sedimentação. As serras constituem relevos acidentados, elaborados em rochas diversas, formando cristas e cumeadas ou as bordas escarpadas de planaltos.” (IBGE, 2009 p. 175)



**Tabela 3** Relação da Declividade do Relevo com a taxa de infiltração. Fonte: Gonçalves (2007)

<b>Declividade</b>	<b>Taxa de Infiltração</b>
<b>Declividade 0 a 8%</b>	Taxa de infiltração 95% da capacidade de retenção dos solos.
<b>Declividade 8 a 15%</b>	Taxa de infiltração 70% da capacidade de retenção dos solos.
<b>Declividade 15 a 30%</b>	Taxa de infiltração 45% da capacidade de retenção dos solos.
<b>Declividade &gt; 30%</b>	Taxa de infiltração 5% da capacidade de retenção dos solos.

BRITO (2020)<sup>33</sup>, ao avaliar o impacto de padrões em geomorfologias com declividade diversas e topografia planar e convexo convergente, pode constatar melhora nos processos de recarga de aquíferos na geomorfologia planar. No entanto, por mais que haja constatações por meio das pesquisas científicas acerca das características do relevo, como as áreas de baixa declividade, atreladas a uma infraestrutura pedológica passível de prover a recarga dos aquíferos, assim como sua estrutura geotécnica na provisão de serviços ecossistêmicos hídricos, como a recarga dos aquíferos, há prevalência sobre a provisão habitacional urbana em detrimento da hídrica, em decorrência do grau de similaridade entre as características ambientais necessárias à urbanização e os condicionantes para a recarga dos aquíferos (SERAPHIM,2018).

Importa salientar que o estudo da geomorfologia interage de forma explícita com a pedologia, que abrange a classificação e mapeamento dos solos, aos quais correspondem a camada superficial da terra e a eles são atribuídas as funções de filtro, regulação e recarga das águas (GONÇALVES,2007). A compreensão dos solos, suas tipologias e propriedades, são fundamentais para a continuidade da provisão ecossistêmica hídrica e para escolha de áreas propícias a ocupação urbana, com a mitigação dos impactos das atividades humanas no meio ambiente

<sup>33</sup> Ressalta-se que o estudo geomorfológico levou em consideração outras características do meio físico, como a pedologia para mensurar a capacidade de recarga. Para mais, Brito (2020), também incluiu o fator padrão de ocupação em suas análises.

como os processos erosivos, “desmatamento, movimentos de terra, impermeabilização do solo” (MOTA,2011 p.51).

Compreender a capacidade de infiltração dos solos, as classes de drenagem, que “referem-se à quantidade e rapidez com que a água recebida pelo solo infiltra e/ou escoar” (EMBRAPA,2018 p.314), especialmente no advento do parâmetro urbanístico taxa de permeabilidade, proporcionará taxas assertivas, as quais contribuíram para a manutenção das trocas ecológicas e recarga dos aquíferos. No quadro 1, se apresenta uma síntese das classes de solo e suas classes de drenagem. Importa salientar que, mesmo estando na mesma classe de solos há possibilidade de variação no comportamento dos solos, especialmente quando locados em bacias hidrográficas diferentes (SANTOS,2012).

**Quadro 1** Classes de solo e o potencial de drenagem. Fonte: Autora com dados do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2018)

<b>Classes de solos</b>	<b>Classes de drenagem<sup>34</sup></b>
<b>Argissolos</b>	Forte a imperfeitamente drenados
<b>Cambissolos<sup>35</sup></b>	Fortemente até imperfeitamente drenados
<b>Chernossolos</b>	Bem a imperfeitamente drenados
<b>Espodossolos</b>	Drenagem de variabilidade elevada
<b>Gleissolos</b>	mal ou muito mal drenados
<b>Latossolos</b>	Fortemente a bem drenados
<b>Luvissolos</b>	Bem a imperfeitamente drenados
<b>Neossolos</b>	Bem drenados
<b>Nitossolos</b>	Bem drenados
<b>Organossolos</b>	Mal a muito mal drenados
<b>Planossolos</b>	Imperfeitamente ou mal drenados
<b>Plintossolos</b>	Imperfeitamente ou mal drenados
<b>Vertissolos</b>	Variam de imperfeitamente a mal drenados, ocasionalmente, moderadamente drenados

<sup>34</sup> **“Excessivamente drenado** – a água é removida do solo muito rapidamente; o material de solo tem elevada porosidade e permeabilidade, sendo comum aos solos desta classe de drenagem a textura arenosa. **Fortemente drenado** – a água é removida rapidamente do perfil; solos muito porosos e permeáveis, como aqueles de textura média e arenosa, pertencem a esta classe de drenagem. **Acentuadamente drenado** – a água é removida rapidamente do perfil; os solos desta classe de drenagem são normalmente de textura média ou argilosa, porém sempre muito porosos e bem permeáveis. **Bem drenado** – a água é removida do solo com facilidade, porém não rapidamente; os solos desta classe de drenagem comumente apresentam textura média ou argilosa, não ocorrendo normalmente mosqueados devido a processos de oxidação e redução. Entretanto, quando presente, o mosqueado ocorre em profundidade, localizando-se a mais de 150 cm a partir da superfície do solo e também a mais de 30 cm do topo do horizonte B ou do horizonte C, se não existir B. **Moderadamente drenado** – a água é removida do solo um tanto lentamente, de modo que o perfil permaneça molhado por uma pequena, porém significativa, parte do tempo. Os solos desta classe de drenagem comumente apresentam uma camada de permeabilidade lenta no solum ou imediatamente abaixo dele. O lençol freático acha-se imediatamente abaixo do solum ou afetando a parte inferior do horizonte B, por adição de água por meio de translocação lateral interna ou alguma combinação dessas condições. Esses solos podem apresentar algum mosqueado devido a processos de oxidação e redução na parte inferior do horizonte B ou Anexos 315 no seu topo, associado à diferença textural acentuada entre os horizontes A e B, a qual pode resultar na manifestação de caráter redóxico. **Imperfeitamente drenado** – a água é removida do solo lentamente, de tal modo que este permaneça molhado por período significativo, mas não durante a maior parte do ano. Os solos desta classe de drenagem comumente apresentam uma camada de permeabilidade lenta no solum, lençol freático alto, adição de água por meio de translocação lateral interna ou alguma combinação destas condições. Normalmente, apresentam algum mosqueado devido a processos de oxidação e redução no perfil, notando-se indícios de gleização nos seus horizontes mais profundos. **Mal drenado** – a água é removida do perfil tão lentamente que este permanece molhado por uma grande parte do ano. O lençol freático comumente está à superfície ou próximo dela durante uma considerável parte do ano. As condições de má drenagem são devidas a lençol freático elevado, camada lentamente permeável no perfil, adição de água por meio de translocação lateral interna ou alguma combinação destas condições. É frequente a ocorrência de mosqueado no perfil e características de gleização. **Muito mal drenado** – a água é removida do perfil tão lentamente que o lençol freático permanece à superfície ou próximo dela durante a maior parte do ano. Solos desta classe de drenagem usualmente ocupam áreas planas ou depressões, onde há, frequentemente, estagnação de água. São comuns, nesses solos, características de gleização e/ou acúmulo, pelo menos superficial, de matéria orgânica, comumente com horizonte hístico”. (EMBRAPA,2018 p.314)

<sup>35</sup> “Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro” (EMBRAPA,2018 p.86)

Visando classificar uma “área de drenagem em função de sua constituição pedológica” (SARTORI et al., 2005 p.6) e assim compreender o comportamento hidrológico dos solos, foi desenvolvido pela US Soil *Conservation Service* – SCS, baseado nos estudos de Mockus (1949) e Andrews (1954) (MOTA, 2016), a categorização pedológica dos solos que considera a tipologia do solo, o uso e cobertura e as condições de umidade do solo antecedentes. O método de classificação SCS tem auxiliado estudos acerca da infiltração das chuvas nos solos ou aquífero e na avaliação do escoamento superficial, assim como serve de base para as simulações hidrológicas computacionais.

O método SCS-CN agrupa as classes de solo em quatro grupos hidrológicos– A, B, C e D – compreendendo em ordem alfabética, os solos com maior percentual de infiltração (A) à pior potencial de infiltração (D), como apresentado na tabela 4 a seguir.

**Tabela 4** Características hidrológicas dos Grupos de solos desenvolvidas para o Método SCS. Fonte: Sartori et al., (2005) com dados de Mockus (1972)

<b>Grupos</b>	<b>Características hidrológicas</b>
<b>Grupo A</b>	“Compreende os solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, consistindo principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados. (Taxa mínima de infiltração: > 7,62 mm/h)”
<b>Grupo B</b>	“Compreende os solos contendo moderada taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa. (Taxa mínima de infiltração: 3,81-7,62 mm/h)”
<b>Grupo C</b>	“Compreende os solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração. (Taxa mínima de infiltração: 1,27-3,81 mm/h)”
<b>Grupo D</b>	“Compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão. Pertencem a este grupo, solos com grande permanência de lençol freático elevado, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. (Taxa mínima de infiltração: < 1,27 mm/h)”

Por ser uma classificação não desenvolvida para solos tropicais, SARTORI (2004), com base nos estudos de LOMBARDI NETO et al., (1989), compatibilizou o método para solos brasileiros, com ênfase nas classes representativas do estado de São Paulo.

**Tabela 5** Classificação dos grupos hidrológicos com base no método SCS desenvolvido por Sartori (2004).  
Fonte: Sartori et al., (2005 p.11)

<b>Grupos</b>	<b>Características hidrológicas</b>	<b>Classes de solos</b>
<b>Grupo A</b>	Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm); Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; Solos porosos com baixo gradiente textural (< 1,20); Solos de textura média; Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil; Solos bem drenados ou excessivamente drenados; Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa.	LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.
<b>Grupo B</b>	Solos profundos (100 a 200 cm); Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão; Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50; Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso; Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil; Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.	LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO Q UARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMA-RELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
<b>Grupo C</b>	Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm); Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta; Solos associados a argila de atividade baixa (Tb); A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.	ARGISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBIS-SOLO HÁPLICICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.
<b>Grupo D</b>	Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão; Solos rasos (prof. < 50 cm); Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1; Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta); Solos orgânicos.	NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Aos grupos são associadas as classes de solos e atribuído um parâmetro adimensional tabelado denominado *Curve Number*<sup>36</sup> (CN), que varia de 0 a 100, sendo que quanto mais próximo de 0 permeável e mais próximo de 100

<sup>36</sup> Curva Número

impermeável, com valores tabelados, que remetem a combinação do grupo hidrológico do solo, o uso e cobertura e umidade antecedente, a qual varia em três condições, que alteram o parâmetro CN. Essa umidade é associada ao “volume precipitado em um período de 5 a 30 dias antecedentes de uma determinada chuva” (GONÇALVES, 2007 p.31) e corresponde: condição I: solos secos; condição II: solos em condição precedente à eventos de precipitação e condição III: solos em ponto de saturação com precipitações anteriores a cinco dias (GONÇALVES,2007).

No estudo de Sartori (2004) são apresentados os parâmetros de Curva Número tabelados com condição II de umidade, Figura 11, onde para cada tipo de uso e cobertura do solo, são adotados quatro parâmetros. Ressalta-se que diante da temática urbana desta pesquisa, apresentam-se os dados de CN relativos aos usos e cobertura urbanos.

**Tabela 3.5** - CN para áreas urbanas ( $I_a = 0,2s$  e Condição II de umidade antecedente).

Descrição da cobertura		Número da curva para os grupos hidrológicos dos solos			
Tipo de cobertura e condição hidrológica	Percentagem média da área impermeável	A	B	C	D
<i>I - Áreas urbanas desenvolvidas</i>					
1.1. Espaço aberto (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.):					
- Condição ruim (cobertura com grama < 50%)		68	79	86	89
- Condição média (cobertura com grama 50 a 75%)		49	69	79	84
- condição boa (cobertura com grama > 75%)		39	61	74	80
1.2. Áreas Impermeáveis:					
- Lotes de estacionamentos pavimentados, telhados, estradas, etc.		98	98	98	98
1.3. Ruas e rodovias:					
- Pavimentadas com calçadas, guias e galeria de drenagem		98	98	98	98
- Pavimentadas com abertura de valas ou fossos para drenos		83	89	92	93
- Pedregulhadas		76	85	89	91
- De terra		72	82	87	89
1.4. Áreas urbanas no deserto (meio oeste dos EUA):					
- Paisagem natural do deserto (somente áreas permeáveis)		63	77	85	88
- Paisagem artificial do deserto (barreiras de ervas impermeáveis, arbustos do deserto com 25 a 50 mm de material em decomposição com areia ou pedregulho na borda do caule)		96	96	96	96
1.5. Zonas urbanas:					
- comerciais e escritórios	85%	89	92	94	95
- Industriais	72%	81	88	91	93
- Residenciais pela média do tamanho dos lotes:					
- 500 m <sup>2</sup> ou menor	65%	77	85	90	92
- 1000 m <sup>2</sup>	38%	61	75	83	87
- 1300 m <sup>2</sup>	30%	57	72	81	86
- 2000 m <sup>2</sup>	25%	54	70	80	85
- 4000 m <sup>2</sup>	20%	51	68	79	84
- 8000 m <sup>2</sup>	12%	46	65	77	82
<i>I - Áreas urbanas em desenvolvimento:</i>					
- Áreas mudadas recentemente (somente áreas permeáveis, sem vegetação)		77	86	91	94

Fonte: Rawls *et al.* 1996 in Sartori 2004.

**Figura 11** CN áreas Urbanas.  
Fonte: SARTORI (2004)

Baseado no método SCS – CN, BRITO et al., (2021) avaliaram, com base na variabilidade dos grupos de solo, o potencial hidrológico para provisão de serviços ecossistêmicos ambientais hídricos a partir da inclusão de técnicas compensatórias de infiltração. Como resultado foi constatado o aumento do escoamento superficial para os solos tipo B em 58% dos casos. Ademais, no estudo de SANTOS (2012) pode ser verificado, ao avaliar áreas de recarga de aquíferos que as maiores taxas de recarga se concentraram em solos do tipo A: latossolos vermelhos, vermelhos amarelos, sendo os menores em regiões de cambissolos, incluídos no grupo “C” (SARTORI et al.,2005).

Ainda que seja um método amplamente utilizado para análises hidrológicas, partindo da premissa que:

*(...) Os perfis de solo com características semelhantes (espessura, textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e grau de expansão) responderão de forma semelhante a uma chuva de grande duração e intensidade considerável. (Sartori et al., 2005)*

Incertezas e críticas<sup>37</sup> são feitas ao seu uso, entre elas: (i) a não consideração do parâmetro declividade; (ii) a não observação da dimensão da bacia analisada (MCCUEN,1982; RAMOS et al.,1999; GENOVEZ, 2003 apud MOTA,2016); (iii) a aplicabilidade em uso e cobertura do solo distintos ao idealizado para o método, realizado em bacias rurais (GONÇALVES ,2007; MOTA,2016). Contudo, especialistas conjecturam (SARTORI, 2010; MOTA,2016) que o método SCS ainda se mostra apropriado frente a indisponibilidade de dados hidrológicos e a complexidade de obtê-los, o que justifica a ampla aplicabilidade do método, o qual demanda maior conhecimento acerca do uso e cobertura do solo e do parâmetro pedológico.

Como observado, a partir da exemplificação do método SCS, a performance pedológica dos solos quanto a provisão hídrica, assim como as demais características do meio físico, é diretamente impactada pelo uso e cobertura do

---

<sup>37</sup> Em virtude da importância do assunto e afim de não esgotar as incertezas, frente ao escopo da pesquisa, conforme apontado por Mota (2016), Sahu et al. (2010) analisaram amplamente as incertezas que o método traz ao longo de três décadas.



solo, que consiste em um conjunto de informações de classificação da cobertura da terra que subsidiam análises ambientais e territoriais.

Nesse sentido, importa diferenciar os termos (i) cobertura do solo (ou terra) e (ii) uso do solo:

Segundo o sistema de classificação para a cobertura e o uso da terra, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cobertura remete a classificação da cobertura terrestre que engloba os elementos da natureza: “rocha nua, areia e superfícies similares, além das construções artificiais criadas pelo homem, que recobrem a superfície da terra” (IBGE,2013 p.44), que podem ser classificados como áreas antrópicas, áreas naturais, as águas continental e costeira. Ao termo uso da terra (ou solo) são atribuídas as atividades humanas sobre a cobertura do solo, como uso residencial, industrial, agrícola (IBGE,2013). Dessa forma, o uso e cobertura do solo pode ser ordenado em classes, que podem variar de acordo com a área de estudo e seu método de análise, a seguir são apresentadas algumas formas de classificação de uso e cobertura do solo:

SERAPHIM (2018) classificou a cobertura da terra, com vistas a avaliação do serviço de recarga de aquíferos, em três classes de cobertura do solo: selamento, compactação e vegetação. No caso de LIMA et al., (2017) foram classificados o uso e cobertura da terra, com 18 classes, com vistas a avaliação da atividade ecossistêmica em sub bacias. Ambos estudos avaliaram os serviços hídricos com base na cobertura da terra associadas as demais características do meio físico, e demonstraram que as coberturas do solo de alta impermeabilização, geralmente associadas ao uso do solo antrópico, urbano, são inversamente proporcionais à provisão hídrica. Fato que reitera a máxima de que a avaliação das áreas verdes urbanas públicas e privadas, pode ser um indicador de áreas à provisão dos serviços ambientais hídricos, especialmente quanto a disponibilidade hídrica, devido ao processo de infiltração.

CASTRO (2017), ao avaliar a segurança hídrica urbana, classificou o território em cinco classes principais, que abarcavam uso e cobertura do solo – áreas abertas, classificadas a partir da cobertura da terra, munidas de vegetação, e as áreas de comércio, residencial, uso comum e em consolidação, com foco no uso do solo.

Na abordagem da autora, a análise quanto ao uso e cobertura do solo foi associada ao conceito *Urban Structure Type (UST)*<sup>38</sup>, que considera “os diversos componentes da cidade e seus elementos morfológicos e retrata a dinâmica urbana possibilitando uma análise que abarca as perdas ambientais e socioeconômicas.

Por conseguinte, no contexto do conceito de áreas verdes urbanas aqui adotado, como ambientes livres em área urbana, públicas ou privadas, com cobertura vegetal e permeabilidade, com potencial de auxiliar na manutenção dos ciclos naturais, conhecer a cobertura da terra nos padrões urbanísticos apresenta maior valia em relação a categorização por ambiente urbano ou uso – praças, parques, canteiros- o que reafirma o exposto na seção 1.3.1 acerca da infraestrutura ecológica associada a um tipo de cobertura.

Apesar das iniciativas, como as desenvolvidas pelo Ministério do Meio Ambiente do Brasil – MMA<sup>39</sup>, articularem a prestação de serviços ambientais com categorias de áreas verdes urbanas, as classes de cobertura da terra para essas áreas e sua articulação com a infraestrutura ecológica, como os tipos de solos, são pouco apontadas, contribuindo para a implantação da categoria em um padrão urbanístico, mas sem a necessária articulação da cobertura com a base ecológica.

Certamente, que a compreensão da importância da cobertura nas áreas verdes urbanas para provisão dos serviços ambientais hídricos não é uma abordagem nova, pois evidências conjecturam sua contribuição, quando manejadas, em reduções substanciais no escoamento urbano e efeitos na regulação local da temperatura (PATAKI et al., 2011). O que se advoga é o entendimento dessas áreas estarem mais do que associadas a uma nomenclatura – praça, parque - em um determinado padrão urbanístico, mas a relevância de sua cobertura e em consonância com os ciclos naturais. Para tal deve-se relacionar a relevância da

---

<sup>38</sup> Tipos de Estruturas Urbanas

<sup>39</sup> Programa “Cidades + Verdes”, do ano de 2019, com o propósito de incentivar políticas e ferramentas para que as cidades aumentem em quantidade e qualidade as suas áreas verdes urbanas.

localização das áreas verdes em relação as suas características biofísicas, assim, como sua cobertura com vistas a manutenção das trocas ecológicas da área.

Nesse sentido, a compreensão dos percentuais de cobertura verde no processo de planejamento das cidades, associadas à sua infraestrutura ecológica ganha relevo fazendo-se necessário um entendimento do grau de contribuição nas diferentes escalas espaciais que essas áreas manifestam nas cidades. (GÓMEZ-BAGGETHUN,2013).

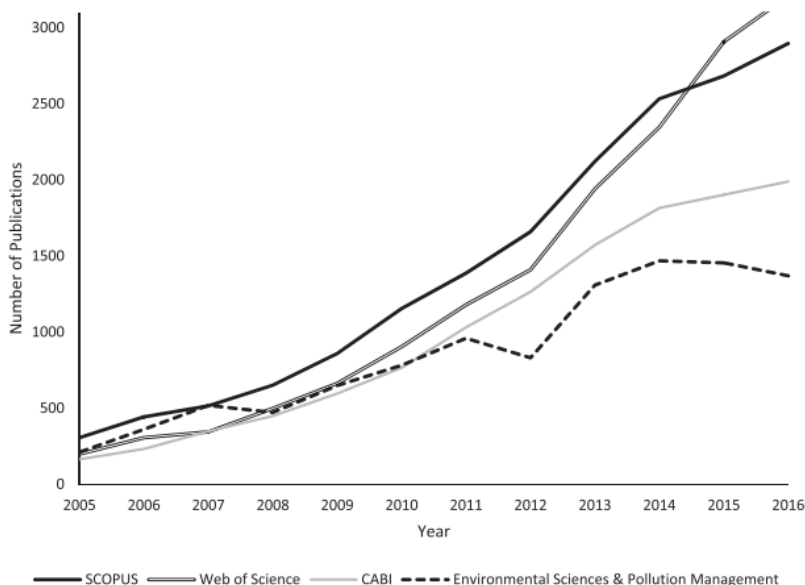
## **CAPITULO 3 | Metodologias de mensuração com foco na provisão de serviços ecossistêmicos**

O capítulo 3 está dedicado a uma revisão sobre métodos que são utilizados para mensuração de serviços ecossistêmicos com ênfase nos serviços hídricos e, ainda, mais aqueles voltados ao meio urbano. Na sequência se discute como considerar as áreas verdes urbanas como foco de avaliação da provisão dos serviços ambientais hídricos para ao final destacar o método que será utilizado para o estudo no Distrito Federal de modo a avaliar as relações entre áreas verdes e o seu potencial de prover serviços ambientais hídricos.

### **3.1. Estado da arte em relação aos estudos sobre serviço ecossistêmicos urbanos**

No campo acadêmico as publicações sobre serviços ecossistêmicos e ambientais estão distribuídas em áreas multidisciplinares pelo fato da temática, por natureza, requerer a colaboração entre inúmeros campos de conhecimento. No entanto, o foco ainda tende a se manter em áreas como ciências biológicas, ambientais e na agricultura, com pesquisas acerca dos conceitos devido à falta de consenso na aplicação do termo serviços ecossistêmicos (NAHLIK et al., 2012) e análises de possibilidades de apoio a tomada de decisão de políticas públicas.

LIMA et al., (2015), demonstram que em um período de 10 anos (2004-2014) as pesquisas acerca da temática dos SE passaram de 100 para 1600 por ano. Para MCDONOUGH et al., (2017), calcula-se que, em 2016, três mil artigos utilizando o termo serviços ecossistêmicos no título, palavras-chave ou resumo, foram publicados, Figura 11.



**Figura 12** Número de artigos publicados por ano com citação do termo Serviços Ecossistêmicos no título, palavras-chave ou resumo.

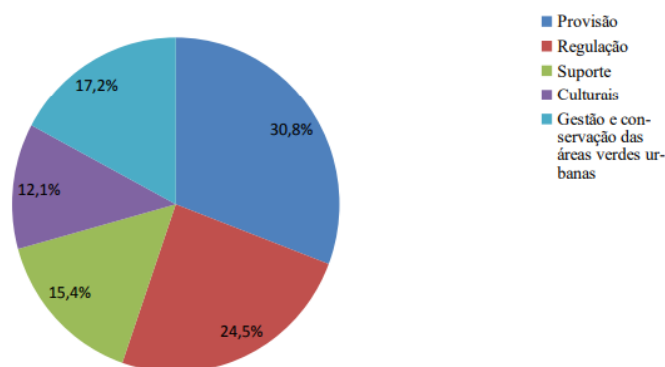
Fonte: McDonough et al., (2017)

Os autores concordam que cerca de 30% das publicações são provenientes dos Estados Unidos, seguidos de 12% do Reino Unido, 10% e 9% da China e Alemanha, respectivamente. No Brasil a temática abrange 3%. Cabe ressaltar que pesquisas desenvolvidas no âmbito da União Europeia possuem um maior número de publicações devido aos incentivos financeiros às universidades e a seus pesquisadores, proveniente de iniciativas como a *EU Biodiversity Strategy to 2020*, pontuam MCDONOUGH et al., (2017).

Ao avaliar as publicações acerca da importância dos serviços ecossistêmicos nas cidades, no período de 2003 a 2015, MUNÕZ; FREITAS (2017) verificaram que 35,4% dos estudos provêm do continente Europeu, o que pode representar uma ação advinda das iniciativas para as áreas urbanas, tal como o projeto *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services* (MAES), que avalia e mapeia os serviços ecossistêmicos da EU. No continente americano foram catalogadas 32,5%, seguidos por Ásia 24,4%; África 4,5%, Oceania 3,2% (MUNÕZ; FREITAS, 2017). Em relação à Ásia constata-se uma maior produção na região da China (16,8%) local onde surge o conceito de Cidade Esponja (XIA et al., 2017) que tem como objetivo alcançar o comportamento hidrológico na bacia hidrográfica próximo ao seu estado natural, por meio da implantação da abordagem *Low*

*Impact Development* (LID)<sup>40</sup> com as técnicas compensatórias de drenagem que visam a captação e infiltração das águas urbanas, o que possibilita a produção de serviços ambientais hídricos como apoio a manutenção da qualidade da água e disponibilidade hídrica. No que se refere a produção brasileira (2,5%) o destaque ocorre em relação as áreas verdes urbanas que são apontadas como elementos capazes de gerar serviços ambientais melhoria da qualidade de cidades (QUEIROGA et al., 2014).

Acerca das pesquisas de serviços ecossistêmicos em áreas urbanas as publicações de maior número abordam a categoria de serviços de provisão, como mostra a Figura 4, com destaque para estudos de abastecimento de água, seguindo de questões como: manutenção de mananciais, sequestro de carbono, biodiversidade, entre outras.



**Figura 13** Abordagem das publicações de Serviços Ecossistêmicos em Áreas Urbanas.  
Fonte: Munõz; Freitas, (2017)

No que tange os métodos de pesquisa, o levantamento avaliou que as publicações efetuam análises, majoritariamente, quantitativas (40,3%), seguida de análises qualitativas com 33,7%. No entanto, ainda são escassas as publicações no âmbito brasileiro que articulem a problemática urbana com as áreas verdes e a manutenção dos serviços ecossistêmicos apesar de serem destaque no âmbito da teoria os estudos quantitativos são poucos. Dessa forma, encontrar respostas quali-quantitativas se valendo da avaliação primária de

40 o LID tem por objetivo projetos que busquem a criação de paisagens urbanas multifuncionais com a manutenção dos processos naturais, tais como o ciclo hidrológico, por meio do uso de técnicas de compensatórios, infraestruturas baseadas na natureza e padrões urbanos resilientes à infiltração das águas.

padrões urbanísticos em áreas propícias a provisão de serviços ambientais, a partir da ótica da disponibilidade de áreas verdes urbanas, pode ser uma contribuição para articulação entre a atividade ecossistêmica e a matriz urbana.

### **3.2. Métodos de avaliação de serviços ecossistêmicos**

Os métodos de planejamento urbano que integram a avaliação da garantia de preservação dos serviços ambientais são reduzidos como é de se esperar em um campo disciplinar onde as decisões sobre ocupação do solo são tomadas, em geral, sem considerar seus impactos sobre a natureza.

A maior referência de interação cidade-natureza, ainda é o método de Mc Harg estudado no capítulo 1. Mesmo considerando que esse método contempla estudos a serem realizados em áreas de expansão urbana, ou seja, áreas a serem ocupadas, sua fundamentação permite extrapolações para entender intervenções urbanas na cidade já constituída.

Assim, dentro da lógica dos estudos de McHarg, novas abordagens de mapeamento têm sido adotadas para identificar e mapear áreas associadas a provisão de serviços ecossistêmicos e ambientais (BURKHARD et al., 2009) sendo possível encontrar várias aplicações em diversos estudos. Mesmo assim, as pesquisas de monitoramento e mapeamento dos serviços ecossistêmicos, ainda, são reduzidas (KANDZIORA et al., 2013; MCDONOUGH et al., 2017; LIMA, 2019), especialmente nas áreas urbanas, onde LIMA (2019) afirma que são poucos os trabalhos que buscam avaliar a variabilidade espacial dos SE e o espaço temporal sendo menos de 10% as publicações do SE que tratam do urbano (GÓMEZ-BAGGETHUN & BARTON, 2013; KRONENBERG & KLAUS, 2013).

A partir de pesquisas acadêmicas e/ou iniciativas técnicas de instituições internacionais se observa no quadro 3 alguns métodos desenvolvidos nos últimos dez anos (LONSDORF et al., 2021; LIU; RUSSO, 2021; GAUDERETO et al., 2018; LIMA et al., 2017; CASTRO, 2017; DERKZEN et al., 2015; PATAKI;2011), que focaram no mapeamento, quantificação e qualificação dos serviços

ecossistêmicos e ambientais, alguns aplicados ao urbano e outros a territórios rurais. Os estudos focam em avaliar e quantificar serviços ecossistêmicos específicos e/ou um conjunto deles, em consonância com grau de perda que as respectivas realidades territoriais apontam.



Quadro 2 Metodologias e Abordagens para levantamento de serviços ecossistêmicos. Fonte: Aline Oliveira (2022)

<b>Autor /Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Rebatimento com as Iniciativas governamentais</b>	<b>Avalia o potencial das áreas verdes urbanas na provisão ambiental</b>	<b>Categoria</b>	<b>Serviço Ecossistêmico Mapeado</b>
<b>LONSDORF et al., 2021</b>	Minnesota, EUA	Não informado	Sim – categoria Campos de Golf	Provisão, regulação	Microclima urbano; Captação de águas pluviais(infiltração); Abundância de insetos polinizadores.
<b>LIU; RUSSO, 2021</b>	Cheltenham, Inglaterra	Sim – Estrutura MAES (EU); Classificação CICES	Sim – áreas verdes urbanas	Regulação Provisão Cultura	Purificação de ar; Armazenamento de carbono; Redução de ruído; Retenção de escoamento; Resfriamento; Lazer.
<b>GAUDERETO et al., 2018</b>	São Paulo, Brasil	Não Informado	Sim – áreas verdes urbanas parques	Regulação Habitat Produção	Regulação de gases atmosféricos; Regulação Climática; Regulação de eventos extremos climáticos; <b>Regulação do ciclo da água;</b> Filtro de Poluição e Tratamento de Resíduos; Fornecimento da água; Retenção do solo; Criação de solo; Regulação de nutrientes; Polinização; Controle biológico; Função de Refúgio e Berçário; Alimentação; Matéria Prima;

					Recursos genéticos. Medicinas e ornamentais.
<b>LIMA et al., 2017</b>	Distrito Federal, Brasil	Rede de Serviços Ambientais Embrapa Cerrados; Projeto Produtor de Águas (ANA).	Não – uso do solo Rural	Provisão Regulação	Produção de alimentos; Produção de Energia; Qualidade da água; <b>Regulação dos fluxos de água</b> Controle de erosão; Controle do escoamento superficial; Refúgio para espécies migratórias; Manutenção da qualidade do solo.
<b>CASTRO, 2017</b>	Distrito Federal. Brasil	Não	Não. Mas atuou sobre uso do solo urbano	Provisão Regulação	Potencial de recarga de aquíferos; Disponibilidade hídrica subterrânea; Qualidade da água subterrânea; Qualidade da água superficial; Potencial de erosão; Potencial de risco de alagamento; Escoamento superficial.
<b>DERKZEN et al., (2015)</b>	Rotterdam, Holanda	Não informado	Sim – áreas verdes urbanas	Regulação Provisão Cultura	Purificação de ar; Armazenamento de carbono; Redução de ruído; Retenção de escoamento; Resfriamento; Lazer.
<b>PATAKI (2011)</b>	Los Angeles, EUA	Sim. MA (2005)	Sim – áreas verdes urbanas	Regulação	Purificação de ar; Armazenamento de carbono; Escoamento superficial.

- Estudos de LIMA et al., (2017); CASTRO (2017).

O primeiro método a ser avaliado para entender sua aplicação e resultados se refere aos estudos voltados à problemática do Distrito Federal como os estudos de LIMA et al., (2017); CASTRO (2017). Esses foram realizados para um contexto rural e urbano e analisaram um conjunto de serviços ecossistêmicos hídricos associados a problemática da região do Planalto Central brasileiro que sofre com estresse hídrico.

A partir do arcabouço teórico e prático desenvolvido pelos pesquisadores da Embrapa, LIMA et al., (2017) elaboraram uma abordagem espacialmente explícita denominada *Mapping Ecosystem Services* (MapES), aplicada em em território rural, com vistas a criação de uma metodologia que monitore as perdas dos serviços ecossistêmicos, especialmente os hídricos no DF. A abordagem avalia por meio de um índice a prestação de oito serviços ecossistêmicos, dentre eles os hídricos, a saber: controle de erosão, controle de escoamento, abastecimento de água, manutenção da qualidade da água, manutenção da qualidade do solo, manutenção da biodiversidade, produção de alimentos e produção de energia. A Atividade ecossistêmica desses serviços foi estimada em 18 classes de uso e cobertura do solo integradas as propriedades da paisagem – solo, declividade e distância dos cursos hídricos. São elas: Área urbanizada, Florestas Naturais, Agricultura de pastagens, Reservatório de pastagens, Agricultura irrigada, Pastagens naturais, Área construída, Cultivo florestal, Vegetação degradada, Solo exposto, Florestas naturais, piscicultura, lagos, centro-pivô, Estradas não pavimentadas, Estradas pavimentadas, Campos de Murundu.

A aplicação em uma sub bacia rural do Distrito Federal, a bacia Sarandi, permitiu verificar que a provisão ecossistêmica hídrica foi bastante reduzida, especialmente nas áreas urbanizadas. Como primeira aplicação metodológica, os autores averiguaram que a abordagem MapES pode auxiliar na avaliação dos impactos de ação antrópica sobre os SE, caso haja dados de cenários de série histórica, assim como permite a comparação do potencial para gerar SE nos usos natural e antrópico, a partir da associação do uso e cobertura do solo com as

características da paisagem. Por se tratar de uma abordagem elaborada para o DF, diante da sistematização das métricas, pesos, limites de incerteza e impacto e viabilidade de dados espaciais e técnicos, o método tem sido utilizado para apoiar projetos institucionais como o Produtor de Águas no Distrito Federal<sup>41</sup>.

Já CASTRO (2017), ainda frente a problemática hídrica do DF, em meio urbano, adaptou, a partir dos estudos de BURKHARD et al. (2012)<sup>42</sup>, uma proposta de indicadores para quantificação da prestação de oito serviços ecossistêmicos hídricos : (i) potencial de recarga de aquíferos, (ii) disponibilidade hídrica subterrânea, (iii) qualidade da água subterrânea, (iv) qualidade da água superficial, (v) potencial de erosão, (vi) potencial de risco ao alagamento, (vii) escoamento superficial e (viii) área verde de recreação.

A quantificação dos serviços ecossistêmicos foi subsidiada a partir de uma relação de indicadores atribuídos a cada serviço a saber: (i) taxa de recarga de aquíferos (%); (ii) média da vazão total (m<sup>3</sup>/s); (iii) classes de enquadramento dos aquíferos (0 a 1); (iv) Índice de qualidade da Água – IQA (0 a 1); estimativa da taxa de erosão (ton/há/ano) e (v) a suscetibilidade ao alagamento, somados a 25 padrões urbanos, também mapeados pela autora, os quais são uma representação da cobertura do solo.

Em seus resultados se verifica que as análises potenciais para provisão ecossistêmica indicam que padrões com maiores percentuais de cobertura vegetal apresentaram melhor potencial para a atividade ecossistêmica e ao contrário nas áreas altamente impermeabilizadas, verificou-se uma redução no potencial. Ademais, a autora recomenda que para estudos futuros, se faz necessários avaliar as variáveis dos padrões urbanos, que podem ter rebatimento com os arranjos nas estruturas urbanas, como as categorias de áreas verdes públicas e privadas.

---

<sup>41</sup> “é uma forma de promover o desenvolvimento de iniciativas voltadas à conservação dos recursos hídricos e se fundamenta na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/97) que dispõe, dentre suas diretrizes, “articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo”. (ANA, 2018)

<sup>42</sup> A pesquisa de BURKHARD et al. (2012) foi atualizada na publicação de BURKHARD; MAES (2017)

- GAUDERETO et al., (2018)

Em outra realidade brasileira, cidade de São Paulo, com elevada densidade construtiva e baixo percentual de áreas verdes na malha urbana, foi elaborado por GAUDERETO et al., (2018) o Índice de Serviços Ecosistêmicos para Áreas Verdes (ISEAV), o qual visava avaliar a atividade ecosistêmica em fragmentos vegetais com objetivo de subsidiar intervenções de manejo das categorias de áreas verdes. Para isso, foram selecionados dois parques urbanos municipais com cobertura vegetal de características distintas: Parque Buenos Aires que possui projeto paisagístico com presença de espécies arbóreas nativas e exóticas, além, de presença de cobertura vegetal em gramíneas, e o Parque Benemérito José Braz, sem projeto paisagístico e com cobertura vegetal de gramíneas em maiores proporções alternada com arborização esparsa.

Os serviços avaliados foram organizados em relação a função ecosistêmica: (i) Função de Regulação (FR) com os serviços de regulação de gases atmosféricos, regulação do clima, regulação de eventos climáticos extremos, regulação do ciclo hidrológico, regulação de poluição e tratamento de resíduos; fornecimento de água, retenção e criação de solo, regulação de nutrientes, polinização e controle biológico; Na (ii) Função Habitat (FH), foram avaliados os serviços de função de refúgio e berçário e para a (iii) Função de Provisão (FP) avaliou-se a alimentação, matéria prima, recursos genéticos, recursos medicinais e recursos ornamentais e quantificados com base em indicadores validados por autores de SE<sup>43</sup> tais como: para a FR; cobertura verde, área permeável, dossel florestal, cobertura verde com serrapilheira, dossel e serrapilheira, riqueza de espécies; para os da FH considerou-se os indicadores de proporção de nativas por exóticas, hábito de espécies e escala de uso; por fim para os serviços da FP, foram utilizados os indicadores de escala de uso, grau de uso.

Como resultado se obteve que o parque Buenos Aires, que possui projeto urbano-paisagístico, apresentou melhor distribuição e maior quantidade de indivíduos arbóreos e arbustivos e, portanto, maior atividade ecosistêmica nos

---

43 ALVAREZ, 2004; CHIESURA, 2004; DE GROOT et al., 2015; NIEMEIJER; DE GROOT, 2008

serviços estudados do que o parque Benemérito, sem projeto paisagístico e maior cobertura vegetal por gramíneas.

A metodologia aplicada demonstrou como o manejo da cobertura vegetal impacta na provisão ecossistêmica e o potencial que as áreas verdes urbanas detêm em meio a áreas de alta densidade urbana, como São Paulo. Atualmente, o método proposto pelos autores, devido a demonstração de sua viabilidade de aplicação está sendo utilizado pela Secretaria do Verde e Meio Ambiente de SP (SVMA-SP) junto a elaboração do Plano de Áreas protegidas, Área Verdes e Espaços Livres (PLANPAVEL), como apoio e monitoramento aos demais parques municipais não contemplados no estudo.

- PATAKI (2011); DERKZEN et al., (2015)

PATAKI (2011) avaliou ciclos biogeoquímicos em ambientes urbanos de Los Angeles com ênfase nos serviços ecossistêmicos de regulação frente a implantação de infraestruturas verdes. Por meio das análises, as autoras puderam avaliar que, há época da pesquisa, não houve comprovações quanto o sequestro de emissões de gases de efeito estufa, como o carbono, vegetações com solos urbanos. De acordo com os autores, a não efetividade do sequestro de carbono foi em decorrência do percentual insignificante de áreas verdes nas áreas urbanas e as emissões na cidade analisada. Para mais, a pesquisa pode comprovar que nas áreas de intervenção avaliadas ocorreu melhoria do microclima e redução do consumo energético e que as soluções de infraestruturas baseadas na natureza foram eficazes nos casos de: (i) captação de águas pluviais e controle do escoamento, (ii) melhoria do serviço de qualidade da água.

DERKZEN et al., (2015) estudaram no Distrito de Rotterdam na Holanda seis serviços ecossistêmicos com sua quantificação e mapeamento: (i) purificação do ar, (ii) armazenamento de carbono, (iii) redução de ruído, (iv) controle do escoamento superficial, (v) melhoria do microclima e (vi) recreação. O trabalho considerou diferentes padrões urbanos e suas áreas verdes urbanas tendo em

conta áreas: (i) cobertura vegetal e selada<sup>44</sup> (ii) árvores isoladas, florestas urbanas, arbustos, herbáceas, gramíneas, jardins domésticos com água, com superfície selada, zoológicos, campo de golfe, cemitérios. Para as análises os autores utilizaram metodologias aplicadas em estudos que não abordavam a temática de SE, como os levantamentos tradicionais ambientais e estudos em contexto urbano e rural<sup>45</sup>.

Os autores concluíram que as áreas verdes com coberturas arbóreas, como as florestas urbanas, auxiliaram na melhoria do microclima com resfriamento, no entanto, validaram que essas áreas podem auxiliar no armazenamento de carbono. Ademais, verificaram que há uma sinergia no tipo de padrão de áreas verdes que desempenham maiores serviços de armazenamento de carbono e a purificação do ar.

Assim, como hipótese principal da pesquisa, puderam concluir que não apenas a quantidade de cobertura vegetal, mas os padrões urbanos com maior percentual de áreas verdes em seu arranjo desenvolveram alto desempenho nos seis serviços avaliados. Nesse sentido, recomendam que a inserção de áreas verdes no desenho urbano seja realizada de forma cuidadosa, visando o fornecimento de serviços ambientais, especialmente sua articulação com as trocas ecológicas.

---

<sup>44</sup> Cabe uma observação que, neste trabalho, os autores avaliaram áreas verdes urbanas seladas, como jardins residenciais e floeiras, aos quais, esse trabalho, intitularia de espaço verde, pois não está munido de permeabilidade.

<sup>45</sup> Autores que DERKZEN et al., (2015) basearam-se para as análises e parâmetros: McDonald *et al.* (2007); Tallis *et al.* (2011); Escobedo & Nowak (2009); Baumgardner *et al.* (2012); Stewart *et al.* (2002); Chaparro & Terradas (2009); Davies *et al.* (2011); Nowak *et al.* (2013); Raciti *et al.* (2012); Strohbach & Haase (2012); Zhao *et al.* (2010); Jo & Mcpherson (1995); Fang & Ling (2003); Aertsens *et al.* (2012); Bolund & Hunhammar (1999); Tratalos *et al.* (2007); Recreation index is based on: Burgess, Harrison & Limb (1988); Richards & Curson (1992); Gobster (1995); Coles & Bussey (2000); Roovers, Hermy & Gulinck (2002); Akbar, Hale & Headley (2003); Van Herzele & Wiedemann (2003); Todorova, Asakawa & Aikoh (2004); Jim & Chen (2006); Tyrväinen, Mäkinen & Schipperijn (2007); Kong, Yin & Nakagoshi (2007); Priego, Breuste & Rojas (2008); Swanwick (2009); Qureshi, Hasan Kazmi & Breuste (2010); Jacobs *et al.* (2010); Grahn & Stigsdotter (2010); Korpela *et al.* (2010); Aertsens *et al.* (2012); Kienast *et al.* (2012); De Vries *et al.* (2013).

- LIU et al., (2021)

Na cidade de Cheltenham, na Inglaterra, diante dos impactos da urbanização LIU et al., (2021) buscaram demonstrar que o uso de metodologias de mapeamento de serviços ecossistêmicos podem ser utilizados para apoiar estratégias para implantação de infraestruturas verdes com vistas a melhoria da provisão ecossistêmica (ZULIAN et al., 2014; DERKZEN et al., 2015; BURKHARD; MAES, 2017). Dessa forma, mapearam e avaliaram as condições de 10 classes de ecossistemas urbanos e as relacionaram com as características ambientais intrínsecas de prover determinados serviços ecossistêmicos como: (i) purificação do ar, (iii) sequestro de carbono, (iii) redução de ruído, (iv) retenção do escoamento, (v) melhoria do clima e lazer.

Os resultados mostram que, de forma geral, os ecossistemas urbanos com maiores percentuais florestais, tem índices mais favoráveis para provisão dos serviços ecossistêmicos, seguido das terras agricultáveis e das áreas verdes urbanas. A compatibilização dos dados dos ecossistemas urbanos e dos serviços ecossistêmicos concede um retrato de áreas potenciais para futuras intervenções por meio da implantação de infraestruturas verdes para provisão dos serviços ecossistêmicos avaliados. Para mais, os autores avaliam que as alterações na composição dos arranjos urbanos (tipo e cobertura) podem estimular a provisão dos serviços ecossistêmicos avaliados.

Dando continuidade à identificação de estudos de avaliação dos serviços ecossistêmicos em contexto urbano, LONSDORF et al., (2021) buscaram avaliar o impacto da provisão ecossistêmica em uma das categorias de áreas verdes mais presente no tecido urbano da região de Minneapolis – Saint Paul, Minnesota, os campos de golfe, que representam uma parcela considerável de área verde em muitas regiões dos Estados Unidos. Ao todo avaliaram a provisão de três serviços ecossistêmicos: (i) melhoria do microclima, (ii) retenção de nutrientes das águas pluviais e (iii) aumento de polinizadores. Para tanto simularam cinco cenários de uso e cobertura do solo em alternativa ao uso de campo de golfe: (i) cenário natural, (ii) cenário com parque urbano, (iii) cenário de ocupação residencial suburbano, (iv) cenário ocupação urbano e (v) cenário industrial. O



objetivo era averiguar quais usos melhor substituiriam a categoria campo de golfe para um melhor desempenho na prestação dos serviços.

Em princípio, os autores verificaram que os campos de golfe são provedores intermediários para os três serviços ecossistêmicos, mostrando-se uma categoria propícia de áreas verdes urbanas. Ao simular os cinco cenários de uso e cobertura do solo em substituição aos dos campos de golfe concluíram que: do ponto de vista da melhoria do microclima, as áreas naturais e os parques urbanos têm desempenho similar, por se tratarem de áreas com presença de cobertura rasteira e arbóreo-arbustiva, do contrário, os campos de golfe desempenham melhor atividade ecossistêmica que as áreas residenciais e industriais. O mesmo ocorre com o aumento da polinização, sendo as áreas naturais e parques urbanos mais indicadas para aumento desse serviço em relação ao desenvolvimento urbano e industrial, os quais ocasionam a redução do índice. Quanto ao serviço de retenção dos nutrientes de águas pluviais, os parques urbanos e as áreas naturais, em uma avaliação de fósforo e nitrogênio, são os de menor impacto. Nas áreas de desenvolvimento residencial ocorrem o inverso.

- Considerações sobre os estudos analisados:

As metodologias discutidas validam o entendimento de que as áreas verdes urbanas contribuem para manutenção da continuidade da provisão dos serviços ecossistêmicos, por se tratarem de elementos urbanos que propiciam, por exemplo, maior permeabilidade com potencial para regulação dos fluxos hídricos, melhoria do microclima e também abrigo de fauna (PATAKI,2011; DERKZEN, et al.,2015; CASTRO,2017; GAUDERETO et al., 2018; LIU; RUSSO, 2021). Os autores, também, reforçam a necessidade de padrões urbanísticos que internalizem as áreas verdes na malha urbana de acordo com os ecossistemas presentes em cada região.

A partir dos resultados das metodologias também é possível inferir que há uma relação diretamente proporcional entre a provisão dos serviços ecossistêmicos, especialmente os hídricos, com a cobertura vegetal. Ademais, demonstram que o conhecimento do potencial da infraestrutura ecológica deve estar associado à

delimitação da cobertura da terra das áreas verdes urbanas, sendo um instrumento para auxiliar em tomadas de decisão no campo da gestão e ordenamento territorial, no contexto de promover cidades mais sustentáveis, com vistas a desempenhar a atividade ecossistêmica plena.

Na revisão dos estudos que avaliaram SE em áreas urbanas, verifica-se que, diante da indisponibilidade de métodos concebidos para o contexto urbano, os autores transpuseram métodos aplicados em estudos que inicialmente foram aplicados para áreas rurais e/ou para avaliação de impacto ambiental por meio da combinação de características ambientais dos ecossistemas e dados de uso e cobertura do solo, assim como apontado na caracterização da seção 2.3.

Das metodologias avaliadas importa destacar também a necessidade da compatibilização para cada realidade territorial: Como DERKZEN et al., (2015) e LIU et al., (2018) que buscaram utilizar os dados da região europeia, GAUDERETO et al., (2018) com abordagens e dados da realidade de mata atlântica e cerrado, presentes em São Paulo, e LIMA et al., (2017) e CASTRO (2017) na realidade do cerrado brasileiro. Contudo, “o resultado desses estudos geralmente não pode ser facilmente comparado devido às diferenças nas metodologias e parâmetros” (LIU et al., 2021 p.2), porém, em todos os métodos avaliados foi constatado que a parametrização de indicadores das características ambientais pode auxiliar em avanços nas análises no âmbito da gestão urbana e territorial e fornecer subsídios para o planejamento das diretrizes e parâmetros de uso e ocupação do solo com vistas a melhoria da provisão de serviços ambientais.

Assim, tendo em conta a similaridade de procedimentos, onde a relevância das características ambientais possui grande importância para o resultado final da análise dos serviços ambientais, se optou por um método já aplicado ao DF:

Os estudos de LIMA et al., (2017), possuem correspondência com a região de estudo o bioma cerrado e a sistematização das métricas e dados foram baseados nas particularidades da região do Distrito Federal. Além desses fatores, o método se ancora sob uma base sólida de pesquisa científica desenvolvida no âmbito da Embrapa Cerrados, ponto essencial ao considerar a subjetividade inerente aos

estudos de serviços ecossistêmicos, especialmente os hidrológicos. Destaca-se que o método se vale do uso de cenários para permitir a avaliação de impactos da ação antrópica sobre os SE visando orientar decisões sobre uso do solo diante das possibilidades de impacto sobre os SE.

Contudo, cabe algumas ressalvas acerca do método: Os estudos desenvolvidos no âmbito do método MapES consideraram características territoriais rurais e urbanas, dessa forma, os valores obtidos como resultados devem ser relativizados, em especial quando as atividades ecossistêmicas dos solos urbanos divergem dos não antropizados.

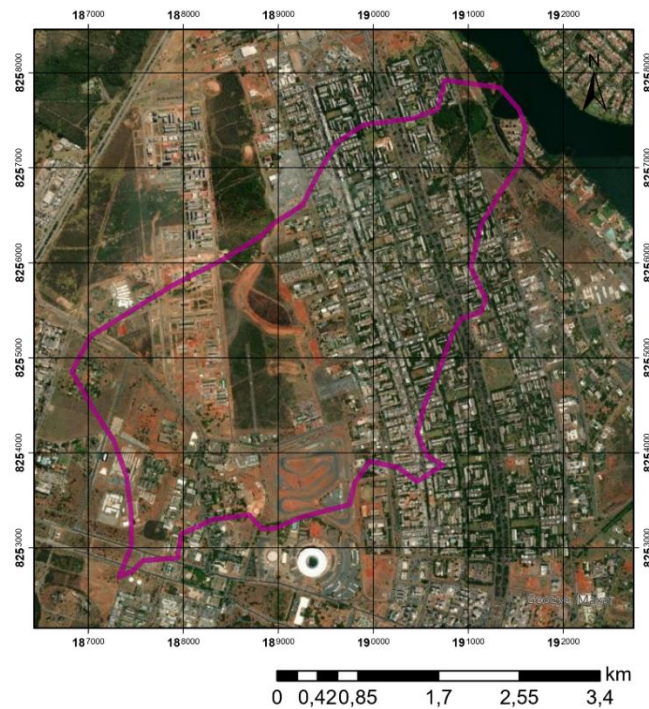
### **3.3. Teste metodológico do MapES como ferramenta de monitoramento da provisão de serviços ambientais hídricos em áreas verdes urbanas**

Em face das análises metodológicas que avaliaram a variabilidade de provisão ecossistêmica ficou evidente que as áreas verdes desempenham um importante papel na estrutura urbana como provedoras de serviços ambientais, incluindo os hídricos. Como demonstrado nos métodos, algumas características ambientais são essenciais para o desempenho dos serviços ecossistêmicos hídricos, sendo necessário uma primeira sistematização do meio físico para averiguar o potencial de prover serviços em determinada região.

A fim de analisar o potencial de provisão ambiental hídrica na área urbana do Distrito Federal, especialmente a recarga de aquíferos, optou-se, como dito, por utilizar a abordagem MapES de LIMA et al., (2017), que trabalha com os parâmetros da paisagem intervenientes aos serviços ecossistêmicos hídricos.

Considerando que a aplicação se realizará em território estritamente urbano buscou-se, com o intuito de testagem do método, compreender quais serviços ecossistêmicos hídricos, possuíam relação com os indicadores de cobertura do solo com ênfase na presença ou ausência de vegetação. Nesse sentido, foi selecionada uma sub-bacia da Região Administrativa (RA) do Plano Piloto do Distrito Federal (DF), como mostra a Figura 14, que faz parte da ocupação inicial de Brasília na década de 1960. Por se tratar de uma ocupação inserida no Plano Piloto de Brasília segue o padrão urbano das tipologias de superquadra: módulo

básico formado por projeções de edifícios, permeadas por grandes áreas verdes urbanas públicas. A vegetação, em sua maioria, se caracteriza por cobertura vegetal de formação campestre e gramíneas; os estratos de maior porte concentram-se nos Parques Burle Marx e Olhos D'água, que constituem manchas isoladas próxima a área de estudo do teste.



**Figura 14** Sub bacia Análise Plano Piloto de Brasília.

Atualmente, a sub bacia é uma das mais impactadas por alagamentos e se pode dizer que a cobertura vegetal nos espaços livres de edificação possuem alto teor de compactação, provenientes do trânsito constante de pedestres e intervenções de obras civis.

Essa sub bacia foi selecionada por estar localizada entre as áreas de recarga de aquíferos da região, estando completamente inserida na classe pedológica como latossolos vermelho de textura média a argilosa, bem drenados, caracterizado pelas pequenas taxas de declividades, sendo em geral inferiores a 5% e em alguns locais entre 5% e 10%. Na região, o aquífero em subsuperfície possui uma importância hidrogeológica local relativamente elevada, por ser do tipo intergranular contínuo, livre e de grande extensão lateral (GONÇALVES, 2017).

Além de avaliar a aplicabilidade do método em uma sub bacia urbana, essa testagem buscou determinar por qual meio podem ser avaliados os resultados dos serviços em uma escala de 0 a 100 (média, mediana, assimetria, curtose, máximo e mínimo), para isso se efetuou análises comparativas, por meio de uma série histórica, do uso e cobertura do solo da sub bacia, tendo como base resultados das estatísticas descritivas, de análises gráficas por meio de (i) histogramas de frequência das variáveis, (ii) gráficos de dispersão e (iii) mapas de distribuição das amostras<sup>46</sup>.

Com as métricas e indicadores apresentados por LIMA et al., (2017), os dados espaciais intervenientes aos serviços ecossistêmicos hídricos utilizados foram: para o uso e cobertura do solo foi utilizada para o início da série histórica o levantamento da Unesco<sup>47</sup>, partindo de 1964 a 2001; para o ano de 2019 se optou pelo uso e cobertura do solo elaborado pela SEDUH a partir da imagem SENTINEL 2019.

A pedologia foi obtida na base de dados do Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal (ZEE-DF) com escala de 1:100.000; a declividade a partir do Modelo Digital de Terreno, com resolução espacial de 20 metros e quanto a distância dos cursos hídricos se utilizou a hidrografia do Conselho de Recursos Hídricos- CRH 2016<sup>48</sup>. Em sequência, os dados foram convertidos para dados matriciais e re-amostrados para a resolução espacial de 20 metros para compatibilização das resoluções com uso de software SIG, o ArcGis Pro.

---

<sup>46</sup> A validade estatística foi elaborada pelo Doutorando em Geotecnia Bruno Oliveira, feita pelo Teste U de Mann-Whitney, teste não-paramétrico, em que a hipótese nula (H0): as amostras não são estatisticamente diferentes e hipótese alternativa (H1): em que as amostras são estatisticamente diferentes. Se o valor calculado for maior que alpha, H0 é aceito e se o valor calculado for menor que alpha, H1 é aceito. Para este piloto foi adotado o valor de 0,05 para alpha, ou seja, o teste possui 95% de significância.

<sup>47</sup> A publicação "Vegetação do Distrito Federal: tempo e espaço. – 2.ed. – Brasília: UNESCO, 2002. 80p" engloba o levantamento de 1954 a 2001. Em virtude de um dos levantamentos possuir escala de 1:50.000, os dados foram reamostrados para resolução espacial de 20 metros.

<sup>48</sup> Metadados estão disponíveis no endereço eletrônico Metadados - GeoPortal / DF (<https://www.metadados.seduh.df.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search;jsessionid=782F31A2ADC3B44A0E85CD142146046C#/search?resultType=manager&sortBy=relevance&from=1&to=50>).

A princípio, para validação do método, foram selecionados cinco serviços ecossistêmicos hídricos, tabela 6.

**Tabela 6** Serviços Ecossistêmicos e Indicadores baseado nos serviços e propostos por LIMA et.al. 2017.

Serviço Ecossistêmicos	Indicadores Associados
Controle de escoamento (CES)	<b>Cobertura vegetal;</b> Estratificação vegetal; Deposição de lixo; Escoamento superficial /infiltração; Intensidade do uso do solo; Degradação do solo; Compactação do solo.
Controle de Erosão (CER)	<b>Cobertura vegetal;</b> Estratificação vegetal; Deposição de lixo; Escoamento superficial / infiltração; Características do solo; Intensidade do uso do solo; Degradação do solo; Compactação do solo.
Abastecimento de Água (AAG)	<b>Recarga de aquífero;</b> Vazão de base; Vazão mínima; Profundidade do solo; Infiltração; Usos da água.
Manutenção da Qualidade da água (MQA)	Uso de agrotóxicos; Quantidade de sedimentos; Escoamento superficial / infiltração Condições Naturais; Dados de monitoramento.
Manutenção da Qualidade do solo (MQS)	Características físicas; Características químicas; Características biológicas; Condição natural; Uso de agrotóxicos; Biomassa.

A cada serviço ecossistêmico listado se associa uma métrica que varia de 0 a 100, onde quanto mais próximo de 0 não há atividade ecossistêmica e mais próximo de 100 há uma elevada prestação do serviço. Como forma de contextualizar as classes nas áreas urbanas foram associados elementos constituintes das cidades, bem como a classificação CN, como mostra a tabela 7 a seguir.

**Tabela 7** Classificação do Uso e cobertura da terra com os serviços ecossistêmicos baseado nas métricas de Lima et.al (2017).

<b>CN</b>	<b>Elemento Urbano</b>	<b>Classes</b>	<b>CES</b>	<b>AAG</b>	<b>MQ A</b>	<b>MQ S</b>	<b>CER</b>
-	Lagos, reservatórios e córregos	Água	100	100	50	0	100
<b>49</b>	Quadras, cobertura intralote	Formação campestre	80	90	100	100	80
<b>30</b>	Parques, quadras, cobertura intralote	Formação florestal	80	70	100	100	80
<b>35</b>	Parques, quadras, cobertura intralote	Formação savânica	80	80	100	100	80
<b>77</b>	Cobertura do solo Intralote, áreas sem pavimento	Solo exposto	20	10	60	0	10
<b>98</b>	Vias, ciclovias	Sistema viário	0	10	0	0	0
<b>98</b>	Edificações, áreas impermeabilizadas	Área construída	0	10	0	0	20

Como delimitado na seção 2.3, às características ambientais se associam ao potencial de provisão maior ou menor dos serviços ecossistêmicos. Do ponto de vista dos hídricos, o método MapES avalia: declividade do relevo, pedologia e distância da rede hidrográfica. Para cada atributo físico da paisagem são associados fatores que variam de 0 a 1, em que os valores mais próximos de 0 não desempenham potencial para provisão ecossistêmica e os mais próximos de 1 são potenciais para provisão.

A tabela 8 corresponde as métricas utilizadas para os atributos da paisagem, conforme elaborado pelo método:

**Tabela 8** Fator de Redução da declividade, pedologia e distância da hidrografia baseado nas métricas de Lima et.al (2017).

<b>Declividade (%)</b>	<b>Classe</b>	<b>CES</b>	<b>AAG</b>	<b>MQA</b>	<b>MQS</b>	<b>CER</b>
	5	0,90	0,90	0,95	1,00	0,95
	10	0,80	0,80	0,90	0,95	0,90
	15	0,60	0,60	0,80	0,9	0,80
	20	0,60	0,60	0,80	0,9	0,80
	25	0,50	0,50	0,60	0,85	0,60
	100	0,50	0,50	0,60	0,85	0,60
<b>Pedologia</b>	GLEISSOLO HAPLICO	0,60	0,60	0,80	1,00	0,80
	CAMBISSOLO HAPLICO	0,80	0,80	0,70	1,00	0,70
	LATOSSOLOS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Distância (m)</b>	30	-	-	0,50	-	-
	50	-	-	0,70	-	-
	100	-	-	0,80	-	-
	200	-	-	0,90	-	-
	>200	-	-	1,00	-	-

A partir dessa sequência se realiza o cálculo das perdas de serviços ecossistêmicos do tipo CES, AAG, MQA, MQS, CER para o período associado ao uso e cobertura do solo. O cálculo de serviços ecossistêmicos se dá pela Equação 1 para os serviços CES, AAG, MQS, CER e Equação 2 para o serviço MQA.

Uso e Cobertura \* Pedologia \* Declividade

Equação 1

Uso e Cobertura \* Pedologia \* Declividade \* Distância dos Cursos de Água

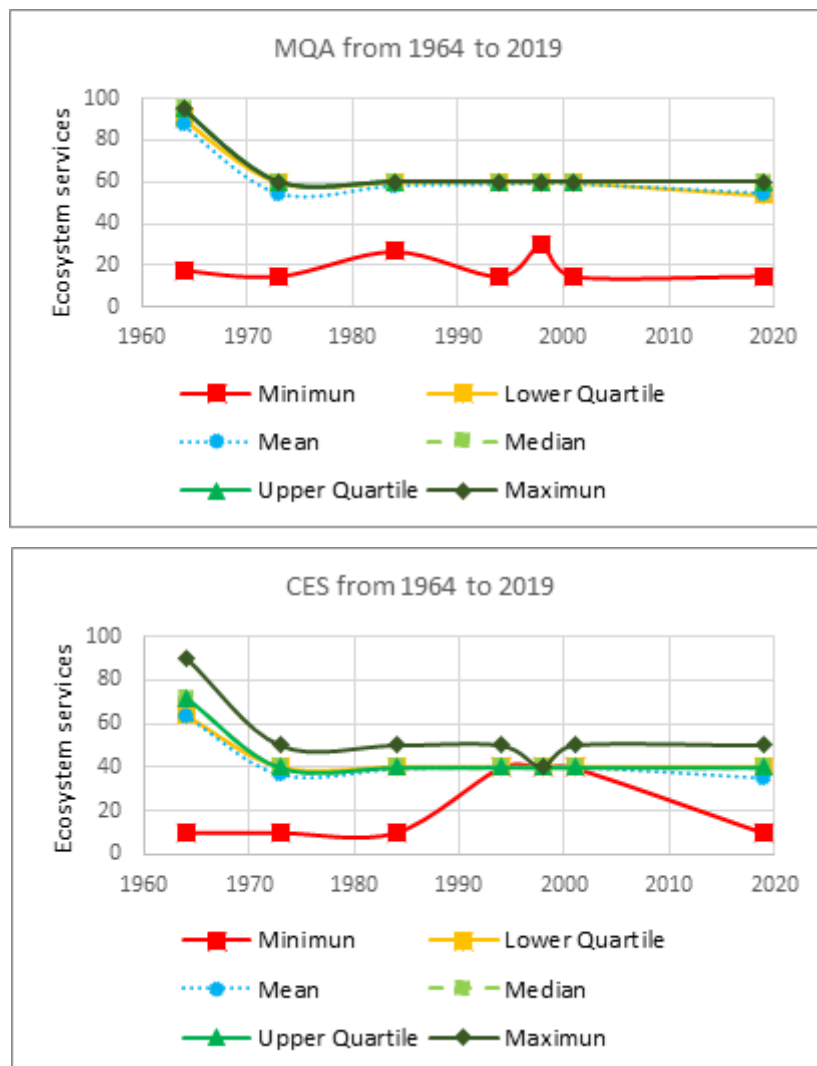
Equação 2

Em um primeiro momento a metodologia foi realizada para o ano de 2019, com uso do Software Arc Gis Pro, para testagem e avaliação dos resultados por meio da álgebra de Mapas, mas, em vista do seu potencial para auxiliar estudos



primários de monitoramento no território, se elaborou uma ferramenta em código Python a partir dos passos percorridos anteriormente, visando a celeridade na aplicação do método, bem como a disponibilização em extensão Python (Apêndice 1).

Na Figura 15 se verifica a variação dos serviços ecossistêmicos entre o período de 1964 e 2019.



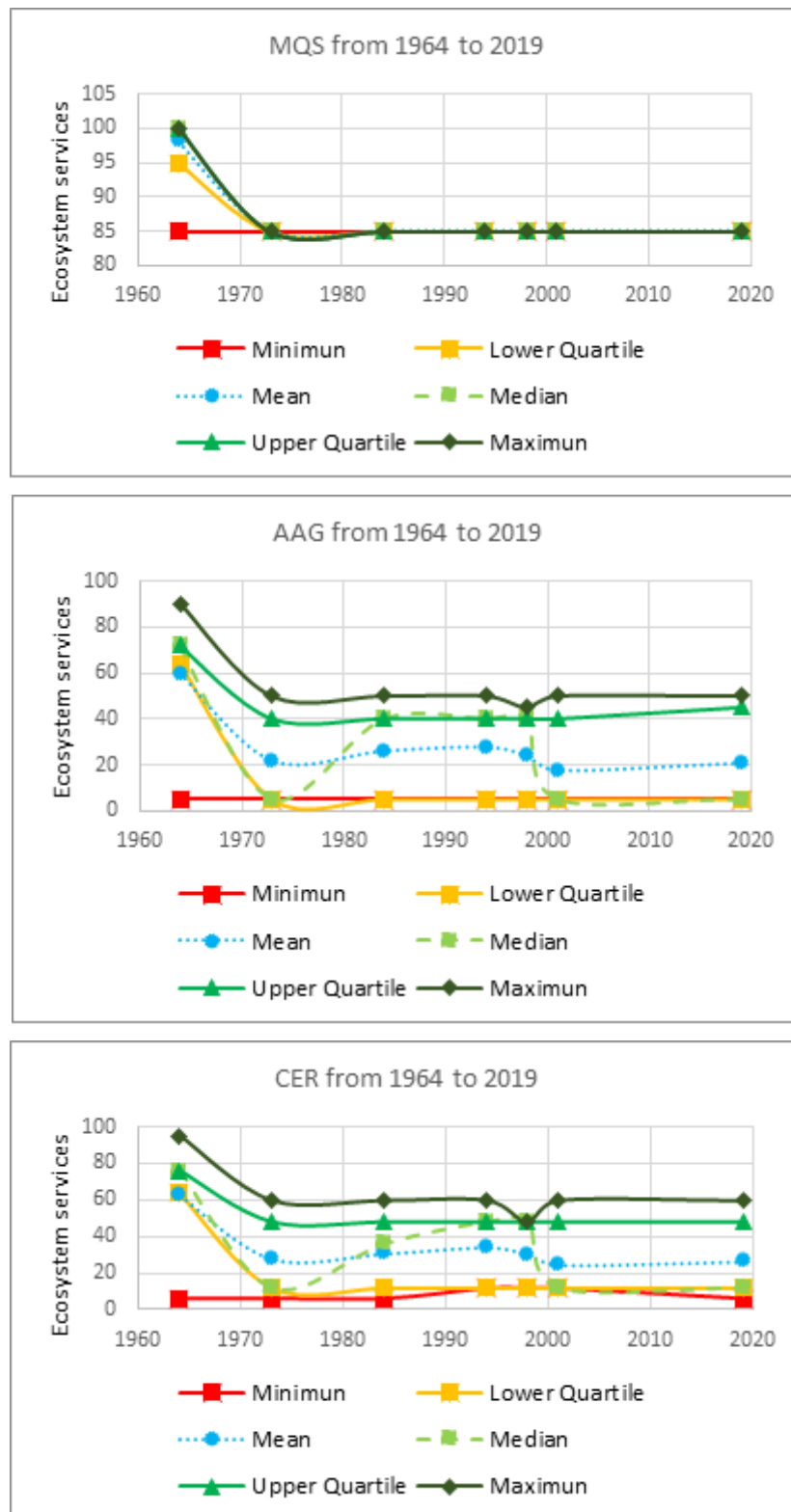
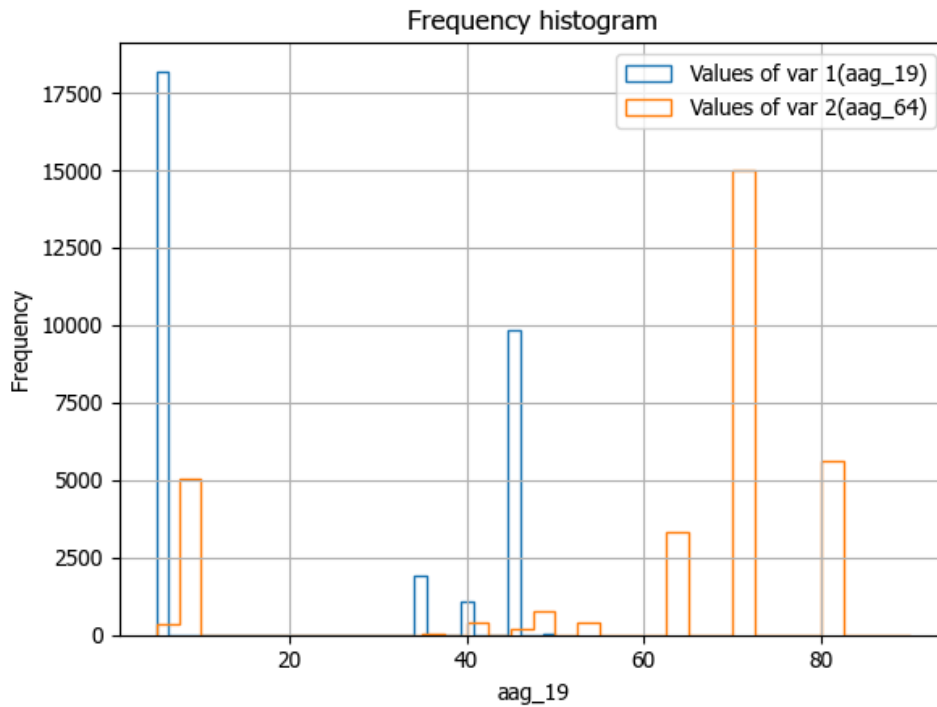


Figura 15 variação dos serviços ecossistêmicos entre o período de 1964 e 2019.

Entre os anos de 1964 e 1973, se observa o decréscimo da provisão ecossistêmica. Por se tratar de uma abordagem que tem como centro o uso e cobertura da terra, infere-se que a redução provém das atividades de perturbação do solo, especialmente a remoção de cobertura arbóreo, arbustiva e a rasteira nativas, com métrica de 80 a 100, por solos impermeáveis e expostos, métricas que variam de 0 a 20. A partir da década de 1970, os serviços mantiveram amplitudes constantes, o que pode estar associado à consolidação da cobertura do solo na sub bacia. À mesma percepção se associa em relação aos dados de 2001 e 2019, que não demonstram alteração significativa, por representar um período no qual não houve alteração de cobertura significativa no solo para os serviços anteriormente citados.

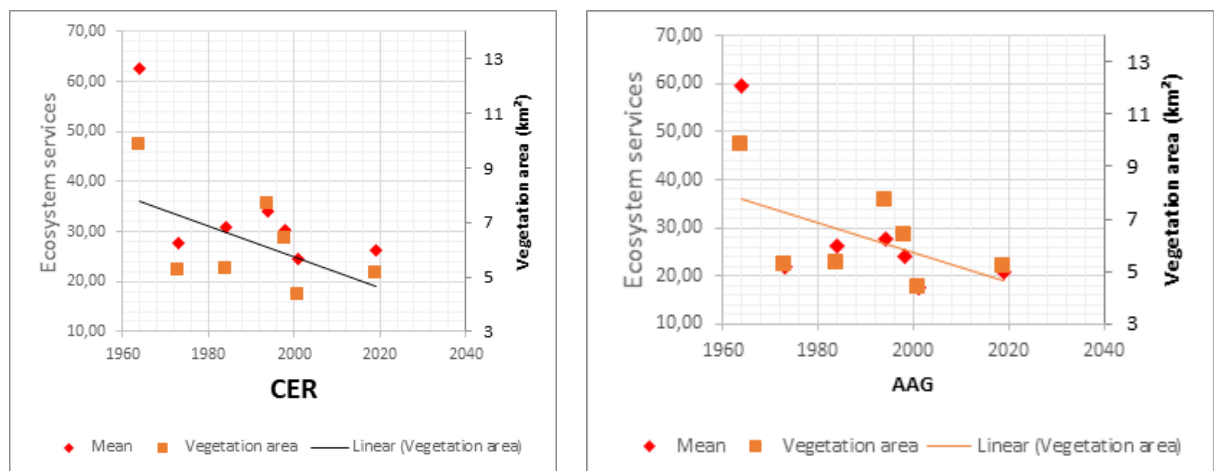
Ao avaliar os serviços AAG (Abastecimento de Água) e CER (Controle de Erosão), nota-se maior variabilidade em termos de média e mediana, o que permite melhor monitoramento da concentração de seus valores com uso desta abordagem. Entre os anos 1980 e 2000, verifica-se uma variação positiva na provisão dos serviços, o que pode ter relação com as práticas de conservação e preservação dos maciços dos parques ecológicos localizados na sub bacia, no entanto, o decréscimo que se segue deve-se a novos parcelamentos a montante da sub bacia. Por fim, a partir dos resultados, pode ser verificado que no ano de 1964 a atividade ecossistêmica hídrica era maior, o que provém da cobertura do solo com maior disponibilidade de vegetação e maior oportunidade de provisão ecossistêmica.

Nesse contexto, se avaliou a relação entre redução da vegetação e perda dos serviços ecossistêmicos hídricos, a fim de avaliar a relação como potencial para monitoramento. Verificou-se que essa ocorre somente para os serviços AAG e CER, onde há uma relação inversa entre a área da vegetação e o serviço ecossistêmico, como apresentado por meio da comparação gráfica nos histogramas (Figura 16).



**Figura 16** Comparação gráfica por histogramas com redução de serviços em relação a vegetação.

Assim, para os serviços ecossistêmicos AAG e CER a vegetação como indicador mostram uma forte correlação (0,8) entre essas variáveis com os dados da média. Portanto, pode-se inferir que, no caso dessa sub bacia, onde há maiores percentuais de áreas verdes, o padrão urbano (superquadra) tem maior potencial de prestação de serviços ambientais hídricos.



**Figura 17** Relação entre a vegetação e o serviço ecossistêmico ao longo dos anos.

Partindo da abordagem MapES de LIMA et al., (2017), a respeito do método de avaliação e monitoramento dos serviços ecossistêmicos hídricos em áreas urbanas:

- (i) A análise representa um dado do momento e do local, que pode ser interessante para práticas de monitoramento por meio de séries históricas, como efetuado no teste metodológico com cenários de alteração da cobertura do solo;
- (ii) A leitura dos resultados por meio das métricas de máximo e mínimo demonstram não ser suficientes para avaliar o monitoramento, diferente da utilização da média, mediana, assimetria e curtose, que permitem uma estimativa dos histogramas. Nesse caso, para leitura posteriores, se indica o uso dos resultados de média a partir dos histogramas gerados em software SIG;
- (iii) Através do método foi possível verificar que os parâmetros de vegetação podem ser utilizados também como elemento de monitoramento, do ponto de vista dos serviços ecossistêmicos hídricos AAG e CER. No entanto há necessidade de observância da infraestrutura ecológica em compatibilidade com o desempenho ecossistêmico que se espera.

Para mais, além de espacializar a perda dos serviços ecossistêmicos hídricos na sub bacia e se mostrar factível para o monitoramento primário no âmbito da gestão urbana e territorial, com vistas a elaboração de políticas públicas que direcionem a um território urbano mais resiliente, o método também demonstra auxiliar no indicativo de áreas passíveis a transformabilidade, com vistas a retomada dos fluxos naturais do ponto de vista hídrico para o DF, contribuindo com a formulação de padrões urbanísticos compatíveis com a capacidade ecológica para prestação de serviços ambientais.

## **CAPÍTULO 4 | Ocupação urbana e impactos sobre os serviços ambientais hídricos no DF: estudo da articulação entre áreas verdes urbanas e infraestrutura ecológica.**

A partir do referencial teórico e o entendimento que as áreas verdes urbanas podem contribuir com a provisão de serviços ambientais hídricos esse capítulo tratará do estudo das relações entre as áreas verdes e provimento dos serviços ambientais, com recorte na provisão hídrica, que como visto no capítulo anterior possui a cobertura vegetal como indicador.

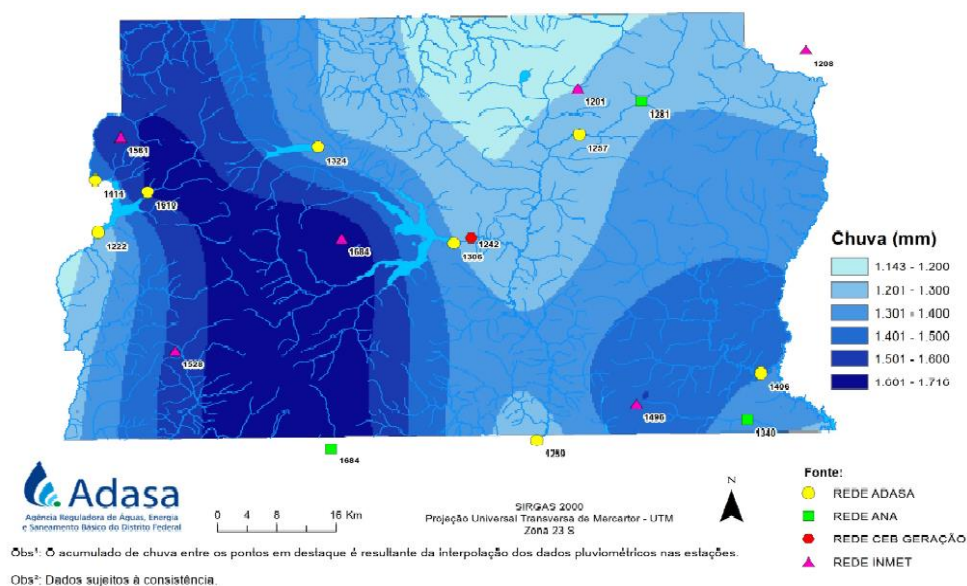
Conforme discorrido na seção 2.3.1 a avaliação do uso e cobertura da terra pode ser realizada de formas diversas, no entanto em relação aos mapeamentos para o serviço da recarga de aquíferos em áreas urbanas importa identificar a cobertura vegetal inserida nos padrões urbanos atuais do DF para associá-las com o potencial de recarga dos aquíferos, a fim de proceder uma avaliação da efetividade da locação e dos percentuais do que se entende por áreas verdes urbanas, em acordo com o conceito aqui adotado.

Assim, o capítulo se divide em seções que discorrem sobre (i); Avaliação da base ambiental do DF, suas especificidades; (ii) Análise urbana do DF se valendo dos estudos de recarga de aquíferos realizados no âmbito do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE-DF), (iii) levantamento das áreas verdes urbanas do DF e (iv) a integração dos dados da caracterização ambiental com os percentuais de áreas verdes urbanas com vistas a avaliação entre compatibilidade das áreas verdes públicas e privadas e a infraestrutura ecológica.

#### 4.1. Caracterização Ambiental do DF

A partir do teste metodológico foi verificado que a avaliação dos serviços ecossistêmicos de abastecimento de água, ligado a recarga dos aquíferos se relaciona com a disponibilidade de áreas verdes urbanas, sendo sua relação diretamente proporcional. Sendo assim, para avaliação desse serviço se faz necessário uma caracterização quanto ao: clima (dados pluviométricos, pedologia, relevo (declividade) e uso e cobertura do solo, a fim de delimitar as áreas de potenciais para armazenamento hídrico e de recarga de aquíferos no DF.

Quanto às características climáticas, a região do Distrito Federal classifica-se como clima de savana tropical, Aw, segundo Köppen e Geiger. A região possui dois períodos distintos bem definidos com (i) estação chuvosa e quente, entre os meses de outubro a abril, e (ii) fria e seca, entre os meses de maio a setembro; com precipitação média anual variando entre 1200 a 1700 mm. Os dados de monitoramento pluviométrico por ano hidrológico contabilizam o início da estação chuvosa em setembro e o fim da estação chuvosa em agosto (ADASA,2018).



**Figura 18** Média Pluviométrica dos últimos 10 anos da pluviometria no Distrito Federal.  
Fonte: ADASA (2018)

No contexto climático os aquíferos freáticos desempenham um importante papel no longo período de estiagem do DF. Na estação chuvosa há o armazenamento das águas precipitadas nos aquíferos, para que nos períodos da estação seca esses reservatórios subterrâneos mantenham a vazão nos leitos de base para a estrutura hídrica superficial, auxiliando na continuidade do abastecimento da região.

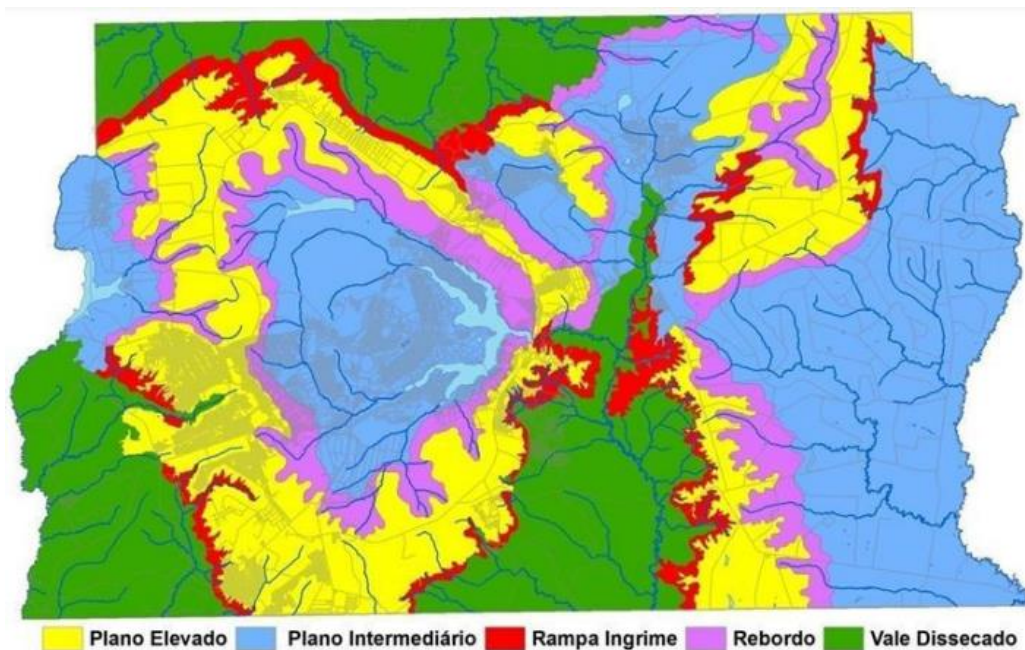
Do ponto de vista geomorfológico, o DF se situa em uma das regiões mais elevadas do Planalto Central, integrado em três padrões geomorfológicos, de acordo com NOVAES PINTO (1994) e, para MARTINS E BAPTISTA (1998), em cinco compartimentos geomorfológicos. Atualmente ambos são utilizados no DF (DISTRITO FEDERAL, 2017b). No entanto, a partir dessas compartimentações, CAMPOS (2011) sugere uma nomenclatura com os seguintes compartimentos geomorfológicos, apresentados no Atlas Ambiental do DF (2020), produzido pela CODEPLAN, que os caracteriza em cinco categorias, tabela 9.

**Tabela 9** Compartimentos geomorfológicos Distrito Federal.  
Fonte: CODEPLAN (2020); SEMA (2016)

<b>Compartimento</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Potencial hídrico</b>
<b>Plano Elevado</b>	Relevo plano a suave ondulado, com altitudes superiores a 1.100 metros e declividade inferior a 10%. São regiões recobertas por Latossolos e com baixa densidade de drenagem.”	Muito alto potencial para à recarga dos aquíferos.
<b>Plano Intermediário</b>	Relevo suave ondulado, diferenciando-se do anterior por apresentar declividade inferior a 12% e altitude entre 950 m e 1.050 m. Nessa área predominam os Cambissolos e há elevada densidade de drenagem	Alto potencial para a recarga dos aquíferos.
<b>Vale Dissecado</b>	Relevo ondulado a forte ondulado, com declividades superiores a 20% e altitude menor que 800 m. Predominam os Cambissolos e há alta densidade de drenagem.	Baixo potencial para a recarga dos aquíferos.
<b>Rebordo</b>	Relevo ondulado com declividades entre 10% e 20% e altitude entre 950 m e 1.110 m. Possui moderada densidade de drenagem e predominância de Cambissolos.	Moderado potencial para a recarga dos aquíferos.



<b>Rampa Íngreme</b>	Relevo forte ondulado a escarpado, com declividades superiores a 25% e altitude entre 800 m e 1.100 m. Possui ampla predominância de Cambissolos e alta densidade de drenagem.	Muito baixo potencial para a recarga dos aquíferos.
----------------------	--	---



**Figura 19** Compartimentação Geomorfológica do DF.

Fonte: Campos (2011) adaptado de Novaes Pinto (1994) e Martins e Baptista (1998).

Das características dos compartimentos geomorfológicos do DF (Figura 19), Tabela 10, podemos relacionar os estudos desenvolvidos por GONÇALVES (2007), abordados na seção 2.3., em que os planos elevados e intermediários possuem alta capacidade de retenção de água nos solos, cerca de 95% e 70 %, respectivamente. Além da alta capacidade de infiltração, os compartimentos com declividades abaixo de 12% se mostram ideais para estrutura das atividades urbanas (DISTRITO FEDERAL, 2017b). Da mesma forma que os compartimentos de rampas íngremes que possuem baixa capacidade de retenção de água no solo, com declividades acentuadas superiores a 25%, são regiões não indicadas para parcelamento do solo urbano.

Além da declividade, as tipologias de solo são fatores que interferem na drenagem dos compartimentos geomorfológicos. No DF os solos do grupo A e B, conforme classificação CN, com características de solos muito profundos a profundos e altas taxas de infiltração, são os de maior abrangência- Latossolos vermelhos e Latossolos vermelhos-amarelos – seguidos dos solos tipo C, com baixa taxa de infiltração e baixa resistência – Cambissolos Háplicos. As demais classes do grupo de solos C e D também são encontradas no DF: Neossolos, Argilossolos Nitossolos, Plintossolos, Chernossolos e solos Hidromorficos (Gleissolos Háplicos, Gleissolos Melânicos e Espodossolos) (GONÇALVES,2007).

Em relação aos Latossolos, com maior presença no território – cerca de 50%, são classes que se dividem em Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelhos-Amarelos:

*“Os Latossolos são comumente solos profundos, de até 20 metros de espessura e possuem capacidade moderada de infiltração de água. Em superfície, a taxa de infiltração (condutividade hidráulica) dos Latossolos varia na ordem de grandeza de 10<sup>-4</sup> m/s a 10<sup>-7</sup> m/s e, em profundidades de 50 cm a 200 cm, são comuns valores na ordem de 10<sup>-6</sup> m/s a 10<sup>-7</sup> m/s.”*  
(ADASA.,2015 p.5)

Os cambissolos são solos predominantes nas regiões dissecadas de vale, com elevada porosidade, mas com baixa condutividade hidráulica, ocasionando em uma classe com baixo potencial para recarga dos aquíferos. De acordo com a EMBRAPA (2004), essa tipologia de solo deve ter seu reflorestamento com espécies nativas incentivado em áreas desmatadas e com destinação a preservação.

Os Neossolos, que se dividem em flúvicos, quartzarênicos e litólicos, ocupam uma baixa área no território – menor que 1%. Os Neossolos quartzarênicos são solos muito suscetíveis à erosão e devem ser destinadas a áreas de preservação EMBRAPA (2004); Os Neossolos flúvicos situam-se em áreas *“de relevo plano, situadas nas planícies de inundação dos maiores cursos d’água, ou nas calhas de drenagens em terrenos movimentados”* (ADASA,2015 p.6), pouco

permeáveis. Quanto aos solos litólicos, são encontrados em regiões de afloramentos rochosos, em relevos de elevada declividade.

Os Argilossolos (~3%), localizados em relevos ondulados, na área inferior das encostas localizam-se em significativas áreas de recarga, *“a taxa de infiltração desses solos encontra-se na ordem de 10-6 m/s podendo chegar a 10-7 m/s, em profundidades maiores que 50 cm”*. (ADASA,2015 p.6)

Os Nitossolos (~1,4%) são classes potenciais para cultura agrícola e pecuária, no entanto, a EMBRAPA (2004) salienta que devido ao seu uso agrícola sua exposição aos processos erosivos se eleva. Essa tipologia ocupa regiões médias e inferior das encostas, rebordos e até rampas íngremes. Outra classe que apresenta potencial agrícola, de acordo com a EMBRAPA (2004), são os Chernossolos, devido às características químicas, no entanto também são suscetíveis aos processos erosivos.

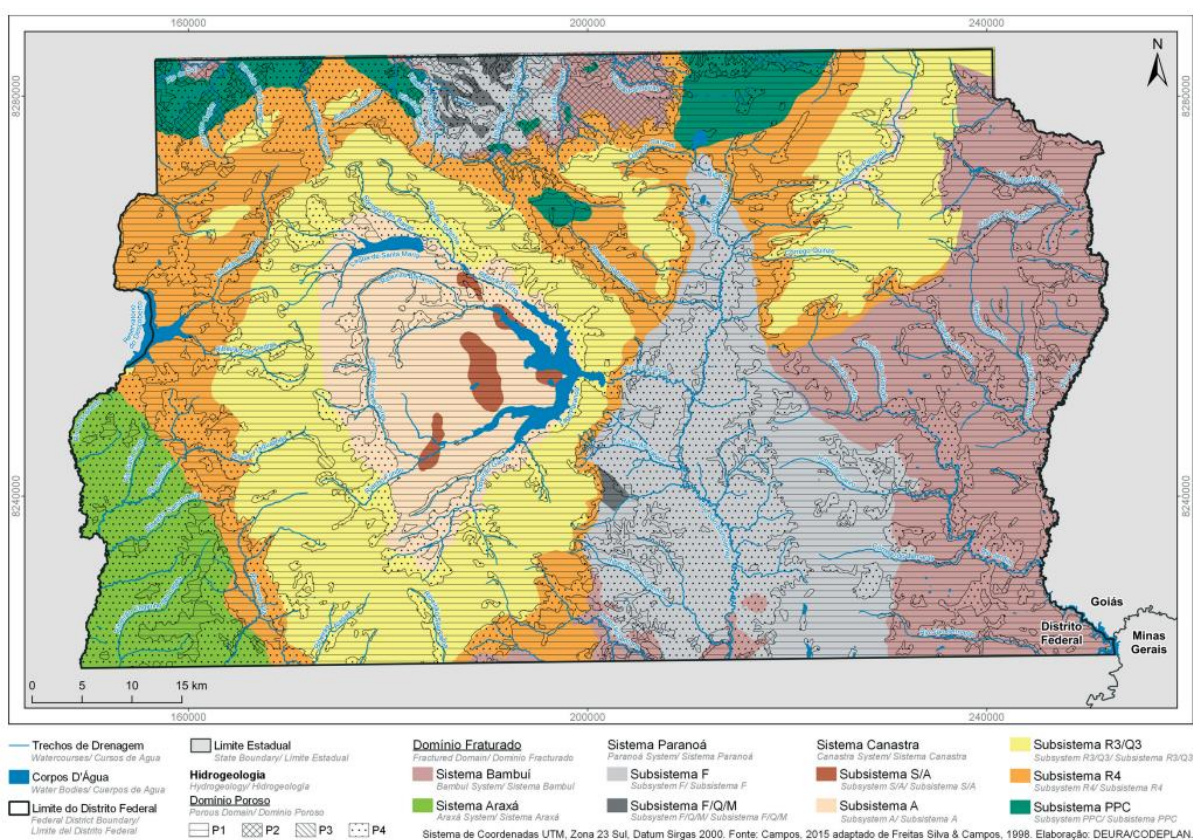
Por fim, os solos hidromórficos, localizados em áreas de inundação, próximos a cursos d'água, nascentes, correspondem a cerca de 4% no território. Conforme a EMBRAPA (2004) essa classe de solos representa sistemas de conservação das águas, sendo a preservação de suas áreas importante para a proteção dos reservatórios de água.

Baseado na definição das características pedológicas do DF, os latossolos são classes que possuem elevada condutividade hidráulica e sua localização em áreas de terrenos de relevo plano suave, regiões de chapada, determinam um elevado potencial para a recarga dos aquíferos, além de sua boa resistência a processos erosivos e cargas. Nesse sentido, reitera-se a problemática da vinculação das áreas propícias a recarga de aquíferos, devido as suas características físicas serem semelhantes àquelas consideradas passíveis de urbanização.<sup>49</sup>

---

<sup>49</sup> Discussão que foi amplamente debatida no âmbito das formulações do Zoneamento Ecológico Econômico do DF.

Do ponto de vista hidrogeológico, que se debruça sobre os estudos das águas subterrâneas, no Distrito Federal, essas são caracterizadas em dois grandes grupos de aquíferos: Aquíferos freáticos ou rasos e os Aquíferos profundos; na região há grande variação de tipos litológicos dentro das várias unidades litoestratigráficas, para melhor caracterização dos vários sistemas requer a subdivisão em subsistemas, evidenciando a real diversificação dos domínios, sistema e subsistemas aquíferos (CAMPOS,2004). Na Figura 20 se apresenta a classificação dos reservatórios subterrâneos do Distrito Federal, de acordo com CAMPOS e FREITAS-SILVA (1998), assim como seus domínios e sistemas:



**Figura 20** Hidrogeologia do Distrito Federal.  
Fonte: CODEPLAN (2020)

Estudos do Meio Físico realizados pelo ZEE-DF retrataram que as águas subterrâneas também auxiliam na manutenção da perenidade das áreas superficiais e na alimentação dos pequenos mananciais, e acrescenta que:

*“...Os aquíferos ainda desempenham, em sua zona não saturada, uma importante função de depuração a partir da retenção de elementos e substâncias que contaminam as águas mais profundas.” (DISTRITO FEDERAL, 2017b p. 57).*

A partir dos aspectos físicos se expõe a fragilidade da região do Distrito Federal, especialmente sobre as áreas passíveis de gerar serviços ecossistêmicos hídricos, a qual representa mais de 50% do território. CAMPOS (2004) aponta que o uso das águas subterrâneas no Distrito Federal vem crescendo, passando a desempenhar um papel importante para o abastecimento público. No entanto, o aumento da necessidade da exploração destas águas encontra um limitante no fato de ocorrer uma alta urbanização de elevada impermeabilização do solo, o que impede a recarga natural. Portanto, o fato exige uma maior gestão hídrica sobre esse recurso, como medidas para a manutenção de sua recarga, sendo as áreas verdes e livres da cidade, tendo em conta os aspectos físicos intrínsecos de cada região, oportunas.

#### **4.2. Estudos antecedentes à ocupação do Distrito Federal**

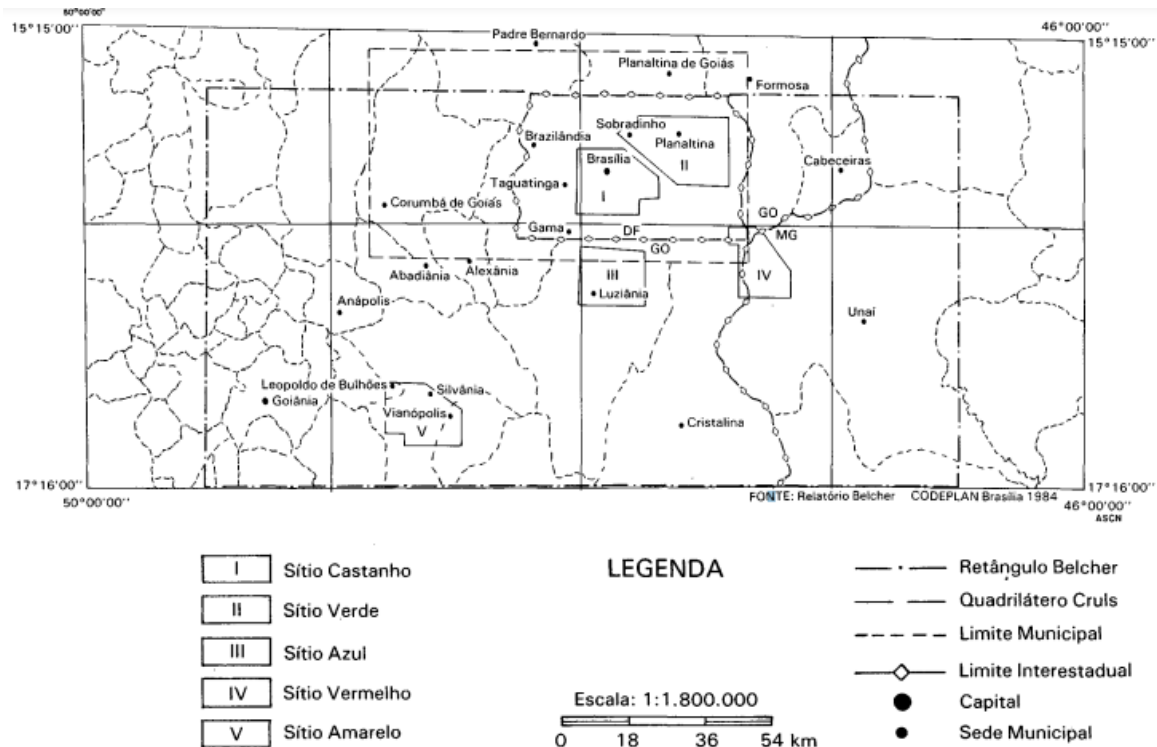
O levantamento dos fatores ambientais, intervenientes dos serviços ecossistêmicos hídricos são essenciais para tomada de decisão sobre ocupação de modo a se obter articulação cidade-natureza e assim promover o desenvolvimento urbano resiliente.

Nesse sentido, vale destacar que o Distrito Federal contou de forma percussora de estudos ambientais para o seu estabelecimento, antes mesmo de declarada a transferência da capital federal para o Planalto Central brasileiro, as regiões passíveis de urbanização, tiveram seus aspectos ambientais amplamente estudados e publicados por meio do: Relatório Cruls (1895)<sup>50</sup>, Relatório Belcher <sup>51</sup> (1955). O Relatório Belcher finalizou as etapas exploratórias para seleção da área de implantação com a avaliação do meio físico de cinco sítios- castanho, verde, vermelho, azul e amarelo – propostos para ocupação, como mostra a Figura 21 a seguir.

---

<sup>50</sup> Comissão exploradora do Planalto Central, liderada por Luis Cruls.

<sup>51</sup> O relatório técnico sobre a Nova Capital da República brasileira foi elaborado pela empresa Norte Americana Donald J. Belcher and Associates, o qual continha os levantamentos do meio físico e a delimitação de cinco sítios passíveis para implantação da Nova Capital.

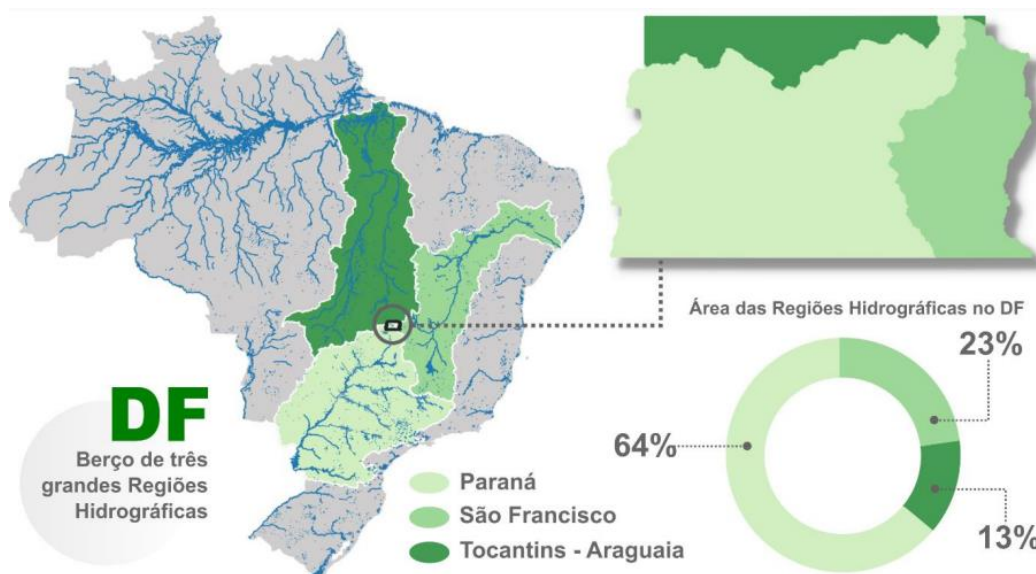


**Figura 21** Sítios para implantação da capital federal.  
Fonte: MAIO (1987 p.73)

A área escolhida correspondia ao sítio castanho (I), por possuir solos de elevada capacidade de drenagem, com potencial para abastecimento humano, clima e salubridade favoráveis e topografia adequada. Contudo, o documento alertava para preservação e implantação de áreas vegetadas diante da necessária manutenção do processo de infiltração das águas precipitadas com vistas a disponibilidade hídrica nos aquíferos.

Dessa forma se definiu o quadrilátero do Distrito Federal, em uma área que ocupa 5.760,784 km<sup>2</sup> do Planalto Central brasileiro (IBGE,2020), limitado pelo rio Preto a leste e o rio Descoberto a oeste; inserido em integralidade no bioma Cerrado, o segundo maior bioma brasileiro, que possui vegetação tipo savana e elevada diversidade de espécies endêmicas de animais e plantas nativas.

Por ser uma região de nascentes é reconhecida como berço das águas, pois se formam três das principais bacias hidrográficas do território brasileiro: Tocantins-Araguaia, pelo Rio Maranhão; São Francisco, pelo Rio Preto; e Paraná, pelo Rio São Bartolomeu e Rio Descoberto.



**Figura 22** Distrito Federal e sua localização nas regiões hidrográficas.  
Fonte: CODEPLAN (2020) com dados ANA (2019)

Em contrapartida, a região se destaca também em relação as fragilidades hídricas, tais como: (i) as condições do solo do cerrado, susceptíveis à processos erosivos quando retirada sua vegetação; (ii) a escassez hídrica, pois é um território de nascentes, sem cursos d'água superficiais capazes de abastecer grandes cidades.

Apesar do DF possuir uma base de dados sólida acerca das características do meio físico, como as apresentadas na seção 4.1., e de conhecimento sobre a capacidade na provisão ecossistêmica hídrica, os impactos provenientes da ação da gestão urbana sobre o território, por meio da implantação de padrões urbanos regulares e irregulares em áreas de recarga de aquíferos, vem ao longo dos anos contribuindo para o aumento do estresse hídrico na região.

#### **4.2.1. Breve histórico da ocupação Urbana no que tange a suas relações com as áreas de recarga de aquíferos**

Passada a implantação inicial da cidade, estudos territoriais para o desenvolvimento dessa nova cidade se iniciam, como o Plano de Diretor de Águas, Esgotos e Controle da Poluição – PLANIDRO de 1970. Assim como os estudos anteriores, esse plano alertava sobre a necessária manutenção dos espaços verdes do território, a conservação dos mananciais, especialmente na Bacia do Paranoá, local onde se insere o projeto do Plano Piloto de Lucio Costa. Diante das diretrizes de não ocupação da bacia do Paranoá motivadas pela manutenção da qualidade do Lago Paranoá, os planos<sup>52</sup> seguintes passaram a indicar a continua ocupação de outras bacias. Entretanto, essa diretriz desconsiderava que as demais bacias também eram provedoras de serviços ecossistêmicos hídricos. Assim, verifica-se que existia uma nítida decisão de preservar a bacia onde estava localizado o Plano Piloto de Brasília por razões que iam além de uma diretriz para preservação de recursos hídricos.

Em 1977 foi elaborado o Plano Estrutural de Ordenamento Territorial – PEOT que definiu áreas de expansão urbana. Nesse, os critérios de áreas passíveis de urbanização, que consideram características do meio físico associadas a tipos de solos e topografia, resultaram por serem as mesmas que possuíam características de recarga de aquíferos (DISTRITO FEDERAL,2017), como já referido no item anterior, resultando no potencial conflito entre os dois objetivos. Diante desse impasse a discussão dos padrões urbanísticos com menor impacto sobre a recarga não foi realizado, pois o tema, ainda, não era discutido no âmbito técnico nos anos de 1980 o que infelizmente se mantém como tradição continuada até hoje. Vale destacar que esse conflito não ocorre apenas no Distrito Federal ele é intrínseco às características do meio físico, considerada favorável para as duas atividades, e deveria ser um tema de destaque nos estudos de urbanismo e planejamento.

---

<sup>52</sup>Plano Estrutural de Ordenamento Territorial- PEOT/77, Plano de Ordenamento, Uso e Ocupação do Solo - POUISO/86, Plano Diretor de Ordenamento Territorial - PDOT/92, PDOT/97 e PDOT/09-12



Do ponto de vista urbanístico o modelo de ocupação do DF estava associado ao urbanismo moderno, baseado no conceito de cidades-jardins e não se atrelava a um posicionamento de integração entre padrões urbanísticos e infraestrutura ecológica local. No princípio de sua ocupação os projetos urbanos contemplavam arranjos urbanos onde categorias de espaços livres, não necessariamente verdes, como praças, canteiros e parques urbanos, eram definidas em função da melhor disposição em relação as áreas habitacionais e/ou vias de modo que as pessoas e veículos pudessem ter maior acesso ao lazer ou mobilidade, por exemplo. Quanto as áreas verdes privadas essas eram definidas em função das categorias de renda a que se destinavam, estando associadas as dimensões da unidade imobiliária.

Diante disso, no quesito de padrões urbanos, podemos inferir que a primeira fase de ocupação no DF desenvolveu arranjos urbanos com maiores oportunidades de categorias de espaços livres públicos, por se constituir em projetos que foram concebidos nos ditames das cidades-jardins, entretanto, não havia preocupação com o tipo de cobertura dessas áreas e se sua localização estava consoante com sua função de infraestrutura ecológica. Na Figura 23 se apresenta o projeto urbano da RA Sobradinho, com presença de praças, parques e áreas *non aedificand* em seu padrão. Na área privada dos lotes não havia preocupação com taxas de permeabilidade compatíveis com a reposição das perdas hídricas.

Por conseguinte, esse padrão se manteve nas cidades que foram sendo instaladas pelo governo local nas manchas definidas pelos planos posteriores da ocupação no entorno da área tombada de Brasília, até meados dos anos de 1990.



**Figura 23** RA Sobradinho Projeto da década de 60-70 com categorias de áreas verdes urbanas: Praças, parques e áreas verdes non aedificand. Fonte: SISDUC-SEDUH

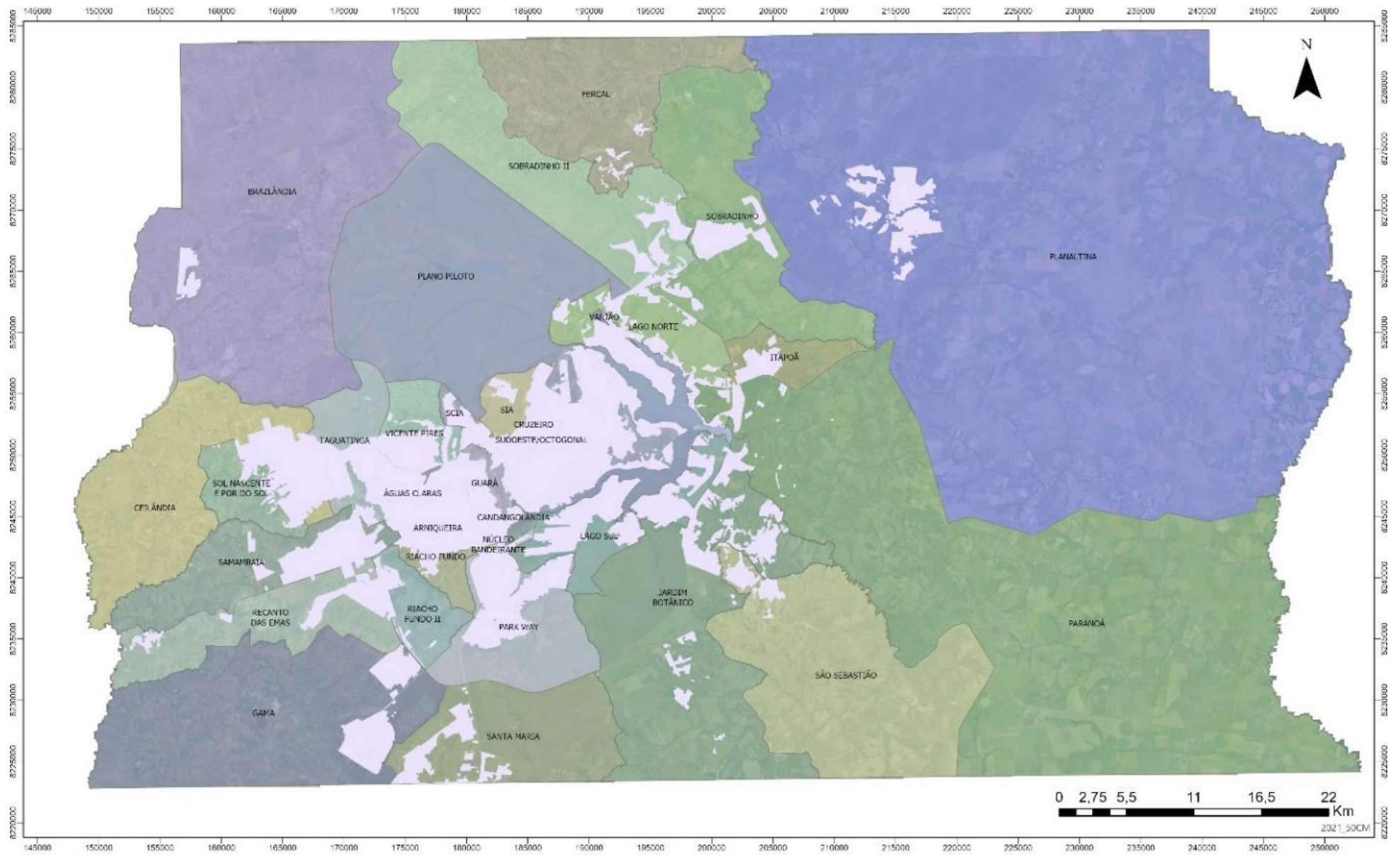
A partir da década de 1990 até os dias atuais, a baixa fiscalização por parte da gestão territorial nas terras públicas<sup>53</sup> foi uma oportunidade para assentamentos irregulares que contribuíram para o desenvolvimento de novos padrões urbanos. Esses padrões provenientes da regularização de áreas pelo governo local têm sido mantidos, sempre diante da necessária consideração da situação fática do arranjo irregular implantado, mesmo se apontado divergências com o meio físico.

Atualmente o Distrito Federal se divide em 33 Regiões Administrativas (RA), Figura 24, das quais, de modo sintético, podemos agrupar em tipologias de acordo com sua época de implantação e sua derivação, se proveniente de (i) projetos urbanísticos da década de 1960 e 1980 onde tanto o plano piloto como as primeiras cidades satélites foram elaboradas com parcelamentos do urbanismo moderno; (ii) projetos realizados na década de 1990 no âmbito das políticas habitacionais do PEOT, também de características modernistas; (iii) projetos posteriores a 1990 realizados no âmbito das normativas do estatuto da cidade (ZEIS) para atender a política habitacional, e também os de fixação de ocupações espontâneas (irregular), que podem passar pelo rito da regularização fundiária, onde, no caso do DF, recebem o status de Áreas de Relevante Interesse Social (ARIS)<sup>54</sup> ou Área de Relevante Interesse Específico (ARINE).

---

<sup>53</sup> No Distrito Federal as terras são administradas pelo estado. Esse mecanismo buscava auxiliar na melhor distribuição e controle da terra.

<sup>54</sup> A ARIS, após processo de regularização, integra o conjunto de Zonas Especiais de Interesse Social, conforme o Estatuto das Cidades.



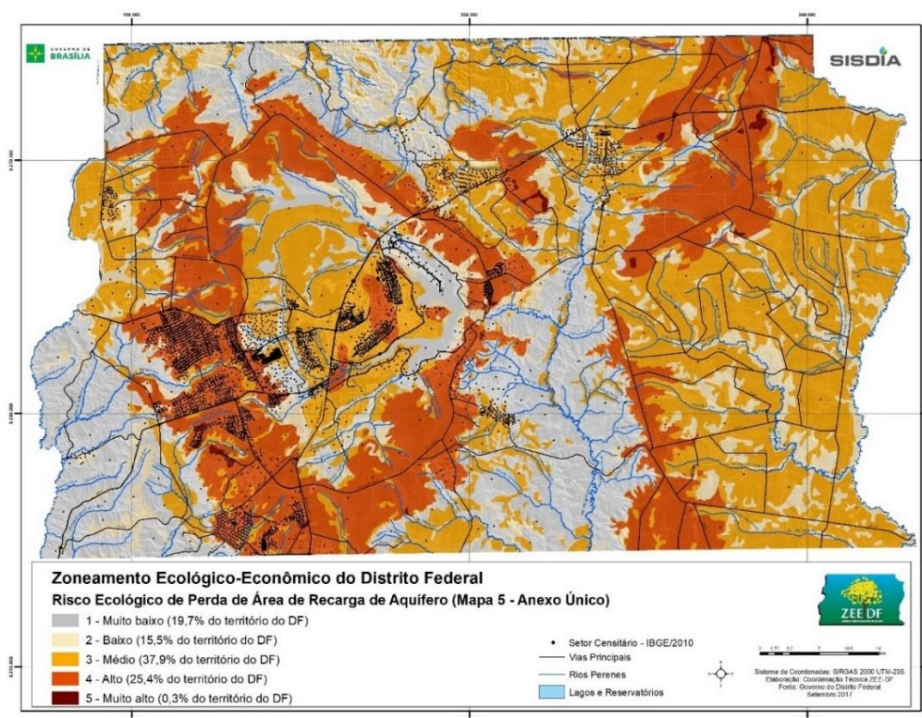
- |                                      |           |                    |                  |                 |                           |               |
|--------------------------------------|-----------|--------------------|------------------|-----------------|---------------------------|---------------|
| Occupação Urbana em Macrozona Urbana | CEILÂNDIA | ITAPOÁ             | PARANOÁ          | RIACHO FUNDO    | SIA                       | SÃO SEBASTIÃO |
| ARNIQUEIRA                           | CRUZEIRO  | JARDIM BOTÂNICO    | PARK WAY         | RIACHO FUNDO II | SOBRADINHO                | TAGUATINGA    |
| BRAZLÂNDIA                           | FERCAL    | LAGO NORTE         | PLANALTIMA       | SAMAMBAIA       | SOBRADINHO II             | VARJÃO        |
| CANDANGOLÂNDIA                       | GAMA      | LAGO SUL           | PLANO PILOTO     | SANTA MARIA     | SOL NASCENTE E POR DO SOL | VICENTE PIRES |
|                                      | GUARÁ     | NÚCLEO BANDEIRANTE | RECANTO DAS EMAS | SCIA            | SUDOESTE/OCTOGONAL        | ÁGUAS CLARAS  |

Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM Datum Horizontal: Sirgas 2000 Meridiano Central: 45° Fuso: 23 Sul

Figura 24 Regiões Administrativas com delimitação da ocupação urbana.

Em face disso, os estudos do ZEE-DF demonstraram que a desarticulação entre os padrões de ocupação urbana no Distrito Federal e a matriz ambiental é uma das ameaças para a região, especialmente sobre as áreas de recarga de aquíferos, afetando a qualidade e quantidade do estoque das águas subterrâneas. Dessa forma, uma das ações da política ambiental do DF, por meio da Lei da Sustentabilidade (ZEE-DF), foi a elaboração dos mapeamentos referentes aos riscos ecológicos<sup>55</sup>, dentre eles o risco de recarga de aquíferos como forma de aportar dados e conscientizar os agentes do governo, especialmente os que atuam na gestão urbana, com vistas ao desenvolvimento de parâmetros e desenhos urbanos mais assertivos à função ecossistêmica.

Na Figura 25 se apresenta o mapa de Risco de perda de áreas prioritárias para recarga dos aquíferos do ZEE-DF, o qual foi desenvolvido a partir da junção de três fatores: (i) pedologia, com ênfase na condutividade hidráulica dos solos; (ii) compartimentação geomorfológica, baseado na nomenclatura de Santos (2011) e (iii) a vazão dos níveis dos aquíferos.



**Figura 25** Mapa de risco ecológico de perda de recarga de aquífero do ZEE-DF/DF.  
 Fonte: ZEE-DF, 2017

<sup>55</sup> O ZEE-DF-DF mapeou quatro riscos ecológicos, a saber: Risco de perda de solos por erosão; Risco de Contaminação do Potencial de Subsolo; Risco de perda de áreas prioritárias para recarga dos aquíferos e Risco de Perda de Remanescentes de Cerrado Nativo.

O mapeamento demonstra que grande parte das RA do DF apresentam potencial natural de recarga, no entanto, esse potencial está sendo continuamente impactado diante dos processos de urbanização e impermeabilização do solo. O que remete a necessidade de um estudo de ocupação de solo com padrões urbanísticos que mantenham essa vocação dado sua fragilidade hídrica.

Na tabela 10, se apresenta as RA que estão sobre áreas de recarga de aquíferos, conforme levantamento realizado com dados do ZEE-DF, considerando os riscos de 3 a 5. Cabe salientar que esses dados abarcam o levantamento dos riscos de recarga em áreas onde há ocupação urbana, sendo retiradas as áreas rurais e espaços territoriais especialmente protegidos, com intuito de averiguar o percentual de áreas urbanas consolidadas ocupando zonas de recarga

**Tabela 10** Percentual de áreas de Recarga de aquíferos em ocupação urbana de acordo com os Riscos Ecológicos do ZEE-DF. Fonte: autora com dados do ZEE-DF e SITURB-DF

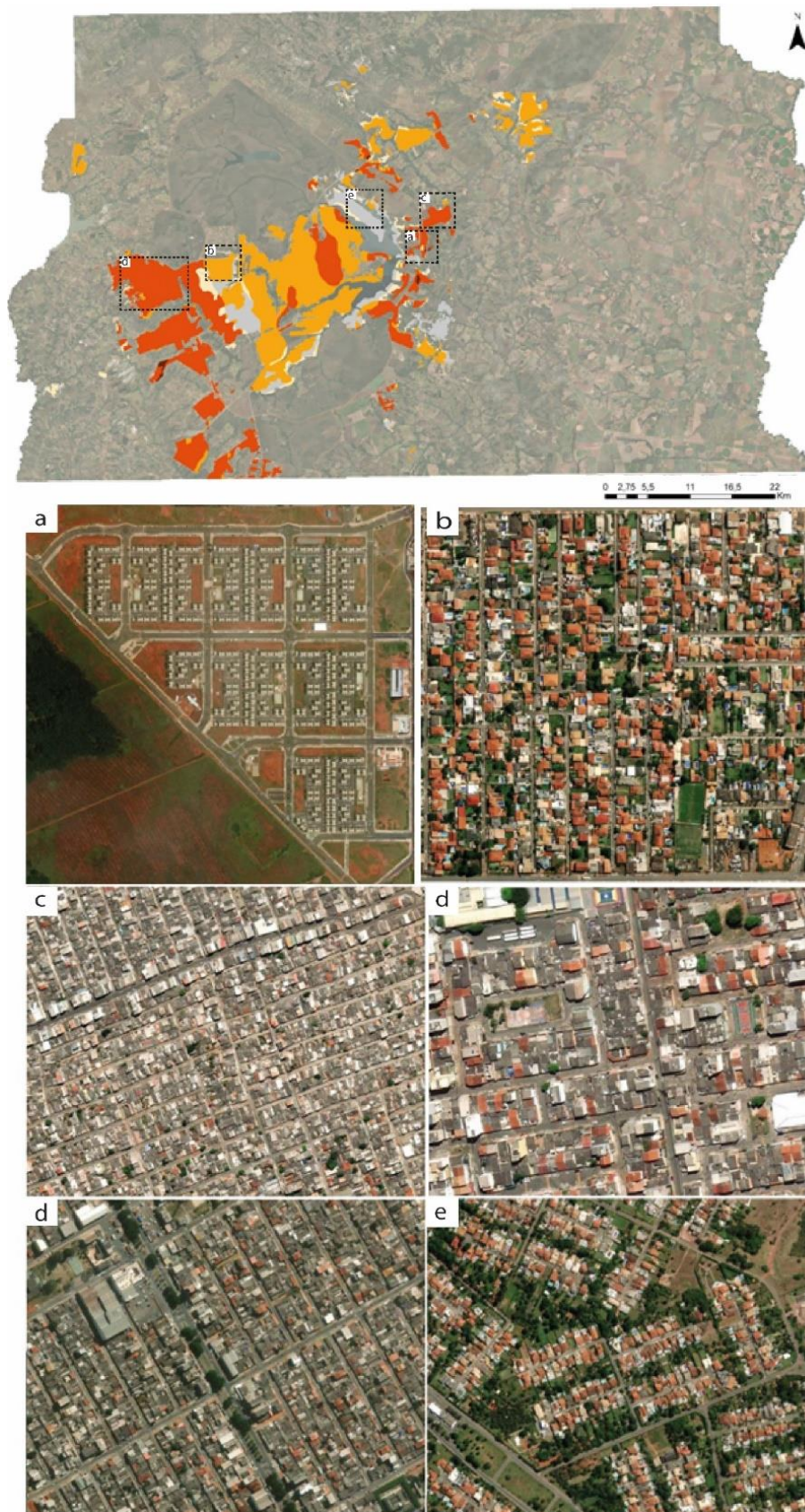
<b>RA</b>	<b>AREA DA ANÁLISE (km<sup>2</sup>)</b>	<b>AREA RECARGA 3-4-5 (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% EM AREA DE RECARGA ZEE-DF</b>
ÁGUAS CLARAS	8,52	6,90	80,97
ARNIQUEIRA	13,36	4,58	34,28
BRAZLÂNDIA	5,15	5,08	98,61
CANDANGOLÂNDIA	2,62	2,62	100,00
CEILÂNDIA	29,18	29,18	100,00
CRUZEIRO	3,18	3,18	100,00
FERCAL	2,79	1,44	51,50
GAMA	23,96	23,96	99,98
GUARÁ	18,17	17,46	96,12
ITAPOÃ	7,45	7,29	97,83
JARDIM BOTÂNICO	30,61	16,67	54,45
LAGO NORTE	31,69	7,52	23,71
LAGO SUL	42,67	31,58	74,00
NÚCLEO BANDEIRANTE	4,42	3,96	89,63
PARANOÁ	5,70	4,99	87,51
PARK WAY	49,16	34,02	69,19
PLANALTINA	27,50	22,00	80,00
PLANO PILOTO	81,68	81,40	99,66
PÔR DO SOL	8,08	7,38	91,27
RECANTO DAS EMAS	15,52	12,67	81,64
RIACHO FUNDO	3,42	2,69	78,65
RIACHO FUNDO II	5,47	5,47	100,00
SAMAMBAIA	26,37	25,61	97,09
SANTA MARIA	16,22	16,14	99,48
SÃO SEBASTIÃO	7,60	5,42	71,29
SCIA	4,95	4,88	98,69

<b>SIA</b>	13,33	13,32	99,93
<b>SOBRADINHO</b>	18,24	17,37	95,22
<b>SOBRADINHO II</b>	14,78	11,95	80,87
<b>SUDOESTE/OCTOGONAL</b>	6,46	6,46	100,00
<b>TAGUATINGA</b>	27,37	27,32	99,82
<b>VARJÃO</b>	0,88	0,04	4,36
<b>VICENTE PIRES</b>	22,15	13,73	61,97

As ocupações nas RA ocorreram por vezes com os mesmos padrões urbanísticos em áreas de diferentes características de recarga e vice-versa. Em uma mesma região há padrões urbanos que estão mais suscetíveis a provisão de serviços ambientais hídricos, como a recarga, devido a sua disponibilidade de zonas permeáveis ou com potencial de se tornar permeável, no caso de áreas verdes compactadas ou solos expostos. Contudo, algumas dessas categorias estão localizadas em regiões onde não há provisão de recarga de aquíferos, ou seja, da mesma forma que há uma diversidade de tipologias de padrões, existe porções em que há maior ou menor potencial para recarga.

Como forma de exemplificação, a Figura “26a”, apresenta uma área de ZEIS<sup>56</sup>, na RA do Paranoá que possui 87,51% de sua ocupação sobre áreas de recarga, este padrão possui categorias de áreas verdes urbanas como praças verdes e canteiros que foram delimitados devido a exigência do percentual de espaço livre de uso público, trazido pela Lei Federal 6.766/1979 e não considerando suas condições e infraestrutura ecológica. Já a Figura “26b” exemplifica o padrão da ARINE no DF, na RA de Vicente Pires, que se enquadra na condição de áreas regularizadas não comportando categorias de áreas verdes públicas tais como praças verdes, canteiros centrais verdejados.

<sup>56</sup> Padrão ilustrado pelo Paranoá Parque que foi o primeiro empreendimento imobiliário construído no Distrito Federal pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV)



**Figura 26** Ocupações sobre áreas de recarga de aquíferos. Elaborado pela autora.  
Fonte: ZEE-DF e SITURB/DF



Nas áreas de ocupação irregular a situação se torna mais crítica quando se avalia as ARIS, ocupações irregulares de baixa renda, onde as categorias de áreas verdes públicas, bem como as privadas, são quase inexistentes como demonstra a Figura “26c”, na região do Itapoã onde mais de 90% de sua ocupação está sobre área de recarga. No entanto, associar a baixa disponibilidade de categorias de áreas verdes urbanas às ocupações de baixa renda é algo que também ocorreu, e ocorre, nas tipologias da cidade projetada: em Ceilândia, Figura “26 d”, 100% da ocupação urbana se encontra em área de recarga de aquíferos, onde as categorias de áreas verdes privadas são quase nulas, do contrário a Figura “26 e” apresenta um recorte da RA Lago Norte, na Península, que uma das menores porções sobre áreas de recarga de aquíferos, cerca de 20%, mas uma maior disponibilidade de categorias de espaços livres públicas e privadas.

Isso posto, cabe avaliar se mesmo com a presença de categorias de áreas verdes públicas ou privadas esses padrões prestam serviços ambientais a partir de uma avaliação de sua cobertura do solo, pois, para prestação do serviço hídrico não basta que exista a categoria de área verde, mas que ela se articule com o serviço ecossistêmico potencial, tenha cobertura vegetal e permeabilidade.

### **4.3. Cobertura Vegetal das áreas urbanas do DF**

Em todo o DF existe pelo menos uma aglomeração urbana que se insere nas tipologias discutidas<sup>57</sup> anteriormente, nesse sentido, buscou-se compreender o percentual de cobertura verde pública e privada nos padrões urbanísticos das regiões administrativas no DF. Para isso, foi utilizado o dado geoespacial do Uso e Cobertura do Solo do DF, referente a janeiro de 2019, disponível na base de dados do Sistema de Informação Territoriais e Urbanas do Distrito Federal (SITURB).<sup>58</sup>

---

<sup>57</sup> (i) projetos urbanísticos da década de 1960 e 1970; (ii) projetos realizados na década de 1990 no âmbito das políticas habitacionais do PEOT; (iii) projetos realizados no âmbito das normativas do estatuto da cidade (ZEIS); (iv) fixação de ocupações espontâneas (irregular).

<sup>58</sup> O dado foi elaborado a partir do mosaico de imagens de composição colorida RGB432, SENTINEL-2B, obtido na United States Geological Survey (USGS), com escala aproximada de 1:20.0000. O método utilizado para elaboração do levantamento da cobertura do solo do DF foi a classificação supervisionada utilizando o classificador Support Vector Machine.

Com o levantamento do Uso e Cobertura do solo primeiramente foram selecionadas as camadas de vegetação, descritas abaixo, para o cálculo do percentual de cobertura vegetal no DF, por se tratar de áreas que possuem permeabilidade, adequando-se ao conceito de áreas verdes aqui proposto:

- (i) Formações campestres, que correspondem a paisagens naturais formadas, principalmente, por vegetação herbácea (ervas), gramíneas e arbustos de pequeno porte;
- (ii) Formação savânica, que corresponde a árvores que apresentam algum grau de distanciamento entre si de forma a não caracterizar uma fitofisionomia florestal;
- (iii) Formação florestal, classe onde foram agrupadas matas galeria, matas ciliares, árvores em áreas urbanas e florestas; e
- (iv) Agricultura, que inclui Culturas independentemente do tipo
- (v) Reflorestamento

Cabe ressaltar que para essa avaliação foi considerado somente a cobertura verde inserida em área urbana, excluindo também os espaços territoriais especialmente protegidos que por ventura se inserem em macrozona urbana. Ao delimitar somente as áreas com cobertura vegetal, restaram no dado apenas as categorias de áreas verdes urbanas públicas, tais como: áreas verdes de acompanhamento viário, parques urbanos, praças verdes, áreas *non-aedificand*. Nas privadas foram consideradas as áreas verdes inseridas nos lotes, entendidas como as taxas de permeabilidade trazidas pelas normativas urbanas. Na equação 5 a seguir se apresenta o cálculo realizado para contabilizar o percentual de vegetação na ocupação urbana.

$$CV = FC + FS + FL + A + RF / AI \quad \text{Equação 5}$$

FC= Formações campestres

FS= Formação savânica

FL=Formação florestal

A=Agricultura

AI= Área Impermeável

RF= Reflorestamento

Na tabela 11 são apresentados os percentuais de área verde em relação a área de ocupação urbana por RA.

**Tabela 11** Área de Cobertura Vegetal na Ocupação Urbana em Macrozona Urbana.

Nº RA	RA	TOTAL_VEG (km <sup>2</sup> )	PRIV_VEG (km <sup>2</sup> )	PUB_VEG (km <sup>2</sup> )
1	PLANO PILOTO	38,60	14,69	23,91
24	PARK WAY	28,49	16,75	11,75
18	LAGO NORTE	18,27	12,70	5,57
16	LAGO SUL	17,01	11,17	5,84
27	JARDIM BOTÂNICO	9,34	3,57	5,77
6	PLANALTINA	6,71	4,32	2,38
12	SAMAMBAIA	5,25	0,75	4,50
10	GUARÁ	4,60	1,55	3,05
5	SOBRADINHO	4,40	1,52	2,88
2	GAMA	4,29	3,28	1,01
29	SIA	4,10	2,22	1,88
30	VICENTE PIRES	4,03	2,14	1,89
33	ARNIQUEIRA	3,81	1,61	2,20
15	RECANTO DAS EMAS	3,42	1,91	1,50
3	TAGUATINGA	3,07	1,03	2,04
26	SOBRADINHO II	2,53	1,24	1,29
22	SUDOESTE/OCTOGONAL	2,45	1,42	1,04
13	SANTA MARIA	2,42	1,05	1,37
20	ÁGUAS CLARAS	2,34	0,61	1,73
9	CEILÂNDIA	1,67	0,60	1,07
8	NÚCLEO BANDEIRANTE	1,54	0,30	1,24
28	ITAPOÃ	1,22	0,89	0,33
4	BRAZLÂNDIA	0,96	0,44	0,52
19	CANDANGOLÂNDIA	0,93	0,05	0,88
31	FERCAL	0,82	0,13	0,68
7	PARANOÁ	0,66	0,19	0,46
11	CRUZEIRO	0,64	0,27	0,38
14	SÃO SEBASTIÃO	0,63	0,26	0,37
32	PÔR DO SOL	0,61	0,26	0,35
25	SCIA	0,61	0,05	0,56
17	RIACHO FUNDO	0,47	0,11	0,36
21	RIACHO FUNDO II	0,24	0,04	0,21
23	VARJÃO	0,24	0,13	0,11

Ao analisar o indicador de área de cobertura vegetal das RA com maior proporção se destacam: Plano Piloto (38,60 km<sup>2</sup>), ParkWay (28,49 km<sup>2</sup>) e Lago Norte e Sul (18,27 km<sup>2</sup> e 17,01 km<sup>2</sup>). Já considerando os menores percentuais se encontram: Varjão e Riacho Fundo (0,24 km<sup>2</sup>), Riacho Fundo II (0,47 km<sup>2</sup>).

A critério de exemplificação foi avaliada a cobertura verde por habitante, a fim de avaliar a veracidade da aplicação de índices de áreas verdes urbanas, como parâmetro a análise se baseou no preconizado pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana- SBAU que é de (15m<sup>2</sup>/hab). Como resultando, dentre as 33 Regiões Administrativas do DF, somente seis – Riacho Fundo, Paranoá, São Sebastião, Pôr do Sol, Ceilândia e Riacho Fundo II- estão com índices inferiores ao da SBAU, conforme tabela 12. As RAs com maior proporção de cobertura verde por habitante são: Park Way, Lago Sul e Lago Norte.

É importante ressaltar que a RA SIA apresentou o maior indicador de cobertura verde por habitante (2.128,15 m<sup>2</sup>/hab.) em função de uma população de 1.926 habitantes (PDAD-2018), causando uma distorção no indicador quando comparado com as demais RA por se tratar de um bairro sem destinação habitacional. Diferente de Vicente Pires, que possui área de vegetação aproximada à do SIA, cerca 4,03 km<sup>2</sup>, mas a amostra populacional levantada é de 19.316 habitantes, contabilizando um indicador de 60,40 m<sup>2</sup>/habitante.

**Tabela 12** Índice de áreas verdes na ocupação Urbana em Macrozona Urbana.

Nº	RA	POPULAÇÃO	I.A-TOTAL	I.A PÚBLICO
27	SAI	1.926	2.128,15	975,56
16	PARK WAY	19.022	1.497,99	617,62
13	LAGO SUL	29.662	573,39	196,90
12	LAGO NORTE	36.474	500,79	152,61
11	JARDIM BOTÂNICO	51.650	180,76	111,64
18	PLANO PILOTO	217.073	177,82	110,14
2	ARNIQUEIRA	39.236	97,13	56,10
7	FERCAL	8.687	94,08	78,69
28	SOBRADINHO	69.363	63,39	41,48
14	NÚCLEO BANDEIRANTE	24.786	62,17	50,20
33	VICENTE PIRES	66.753	60,40	28,31
4	CANDANGOLÂNDIA	16.489	56,28	53,54
30	SUDOESTE/OCTOGONAL	54.559	44,94	18,97
17	PLANALTINA	177.540	37,77	13,41
9	GUARÁ	133.748	34,36	22,77
29	SOBRADINHO II	76.125	33,26	16,94
8	GAMA	132.404	32,42	7,62
32	VARJÃO	8.891	26,84	12,45
20	RECANTO DAS EMAS	131.058	26,07	11,47
23	SAMAMBAIA	231.942	22,64	19,41
6	CRUZEIRO	31.079	20,64	12,08
1	ÁGUAS CLARAS	117.346	19,93	14,73
10	ITAPOÃ	62.234	19,65	5,37
24	SANTA MARIA	126.262	19,16	10,84
3	BRAZLÂNDIA	53.534	17,85	9,65
26	SCIA	35.520	17,27	15,81
31	TAGUATINGA	210.142	14,60	9,69
21	RIACHO FUNDO	42.022	11,08	8,56
15	PARANOÁ	65.519	10,00	7,08
19	PÔR DO SOL	83.102	7,30	4,16
25	SÃO SEBASTIÃO	92.750	6,84	4,00
5	CEILÂNDIA	349.955	4,79	3,06
22	RIACHO FUNDO II	85.047	2,86	2,44

Ao todo mais de 30% da população não usufrui do percentual de vegetação recomendado e se considerado somente o índice referente as áreas públicas esse percentual fica acima de 60%. Contudo, ressalta-se que tendo em conta somente percentuais totais de verde urbano/habitante, o DF se qualificaria como uma cidade modelo, pois esses índices desconsideram a localização em relação

a infraestrutura ecológica das áreas verdes e contempla a visão associada ao urbanismo tradicional de que as áreas verdes possuem maior relevância em sua função de interação social. No entanto, esse indicador pode ser auxiliar em ações do ponto de vista da qualificação dos espaços verdes e livres públicos, com intuito de prestar serviços ambientais culturais.

Por outro lado, se a análise se faz com uma abordagem ecológica, encontram-se novos dados pois se deve considerar as formas de tratamento e tipo de vegetação. A cobertura vegetal dessas extensas áreas verdes do DF tem demonstrado ao longo dos anos uma baixa efetividade do ponto de vista da provisão hídrica diante da deflagração de processos hidroerosivos, alagamentos urbanos, a critério de exemplo.

#### **4.3.1. Articulação entre as áreas verdes urbanas e a infraestrutura ecológica no DF.**

A partir do levantamento das áreas de cobertura vegetal em ocupação urbana, se avaliará se a RA de maior percentual de áreas verdes urbanas representa aquela com maior potencial para infiltração e recarga. Para tanto, além da análise com base nos dados do risco ecológico de recarga de aquíferos do ZEE-DF, foi elaborado uma avaliação acerca do potencial de armazenamento de água no solo pelo máximo potencial “S”, que é determinado exclusivamente pelo parâmetro CN, discutido no capítulo 2, sendo a equação 6<sup>59</sup> utilizada para conversão do dado de polegadas para milímetros (mm). Para determinação do parâmetro curva número foram utilizados os dados de pedologia do ZEE-DF e uso e cobertura do solo de 2019 utilizados na seção 3.3 e na anterior. Na figura 27 se apresenta o dado de CN e na figura 28 o mapa com o potencial “S” processado em SIG no software ArcGis Pro.

$$S = (25400 / CN) - 254 \quad I_a = 20\%$$

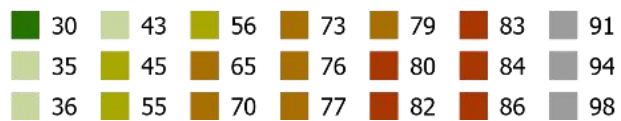
**Equação 6**

---

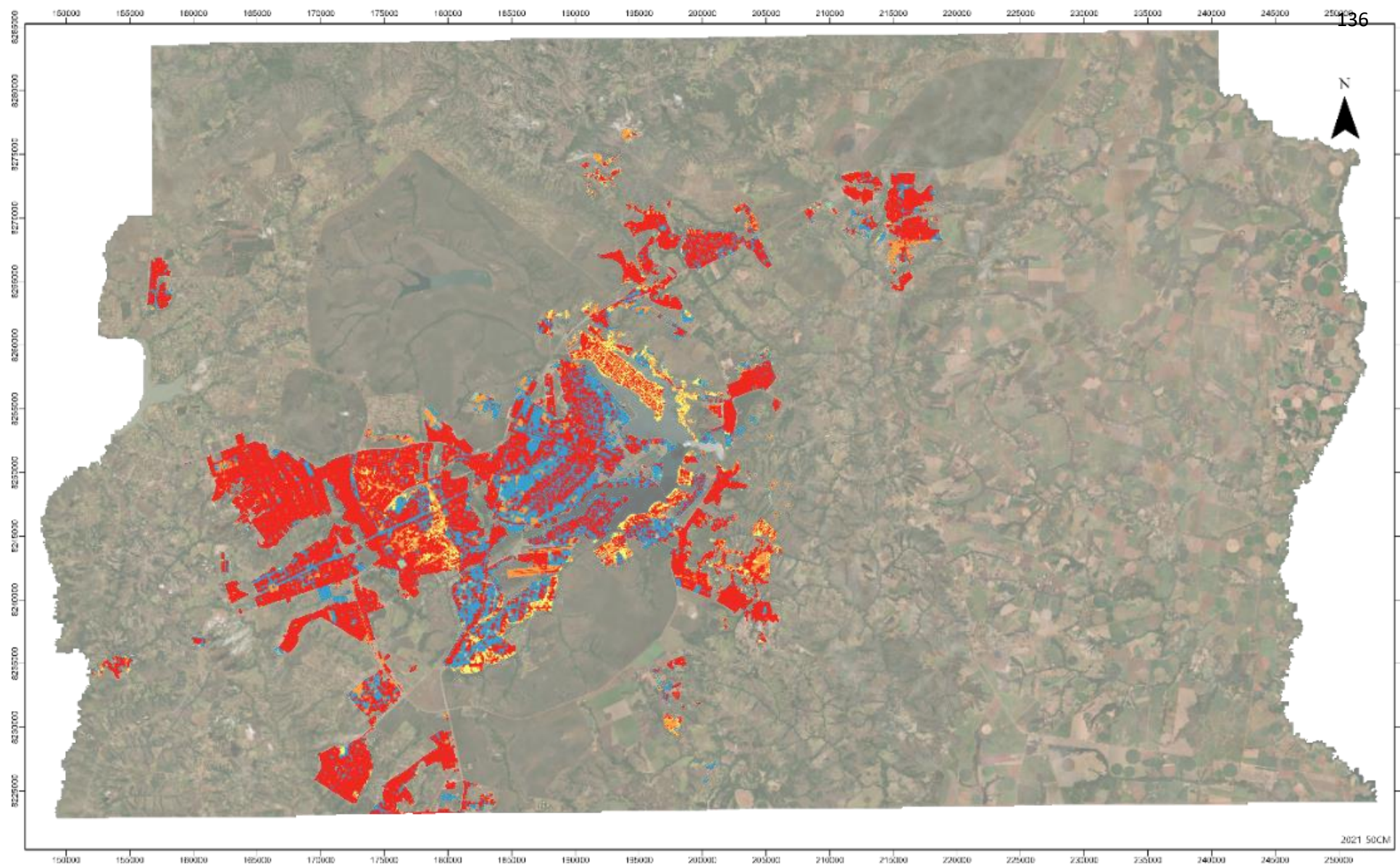
<sup>59</sup> Para determinar o parâmetro curva número foram utilizados os dados de pedologia e uso e cobertura do solo de 2019, o mesmo utilizado para elaboração do levantamento de cobertura vegetal, item 4.3.



**CURVA NÚMERO - OCUPAÇÃO URBANA.**

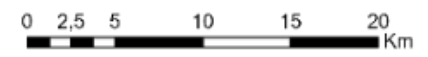


**Figura 27** Curva Número com dados de 2019 em ocupação urbana.



Potencial de Armazenamento (S) Área Urbana

- ≤23,614525
- ≤78,907042
- ≤207,922917
- ≤336,938792
- ≤592,666687



Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM Datum Horizontal: Sirgas 2000 Meridiano Central: 45° Fuso: 23 Sul

Figura 28 Potencial de Armazenamento de água em ocupação Urbana.



A Figura 28 ilustra o potencial de armazenamento de água no solo (S) em uma escala > 20 mm a <500 mm na ocupação urbana do Distrito Federal. Em seguida, na tabela 20, são delimitados os percentuais de S, maiores que 300 mm em cada umas das ocupações urbanas das RA, por representarem áreas com CN de cobertura vegetal ou solo exposto, característicos das áreas verdes urbanas públicas e privadas.

**Tabela 13** Percentual do Potencial de Armazenamento de água no solo (S) por Região Administrativa.

<b>RA</b>	<b>AREA DA ANÁLISE (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%Potencial Água no Solo (S) &gt; 300 mm</b>
<b>ÁGUAS CLARAS</b>	8,52	28,93
<b>ARNIQUEIRA</b>	13,36	8,00
<b>BRAZLÂNDIA</b>	5,15	17,02
<b>CANDANGOLÂNDIA</b>	2,62	37,92
<b>CEILÂNDIA</b>	29,18	6,00
<b>CRUZEIRO</b>	3,18	20,06
<b>FERCAL</b>	2,79	0,00
<b>GAMA</b>	23,96	17,23
<b>GUARÁ</b>	18,17	22,71
<b>ITAPOÃ</b>	7,45	14,43
<b>JARDIM BOTÂNICO</b>	30,61	8,95
<b>LAGO NORTE</b>	31,69	12,54
<b>LAGO SUL</b>	42,67	31,59
<b>NÚCLEO BANDEIRANTE</b>	4,42	33,40
<b>PARANOÁ</b>	5,70	11,62
<b>PARK WAY</b>	49,16	40,54
<b>PLANALTINA</b>	27,50	15,10
<b>PLANO PILOTO</b>	81,68	47,70
<b>PÔR DO SOL</b>	8,08	6,12
<b>RECANTO DAS EMAS</b>	15,52	19,94
<b>RIACHO FUNDO</b>	3,42	12,19
<b>RIACHO FUNDO II</b>	5,47	4,66
<b>SAMAMBAIA</b>	26,37	21,49
<b>SANTA MARIA</b>	16,22	15,51
<b>SÃO SEBASTIÃO</b>	7,60	5,64

<b>SCIA</b>	4,95	12,29
<b>SIA</b>	13,33	30,63
<b>SOBRADINHO</b>	18,24	21,84
<b>SOBRADINHO II</b>	14,78	11,01
<b>SUDOESTE/OCTOGONAL</b>	6,46	41,53
<b>TAGUATINGA</b>	27,37	11,58
<b>VARJÃO</b>	0,88	0,93
<b>VICENTE PIRES</b>	22,15	6,79

De posse dos dados de potencial de armazenamento de água se pode inferir as regiões de maior percentual de área verde com solo de maior permeabilidade, devido ao uso do CN, como discutido na metodologia de Gonçalves (2007), em que os Latossolos apresentam valores mais elevados de permeabilidade, enquanto os Cambissolos possuem valores reduzidos. No entanto, cabe avaliar se o fator S delimitado, a partir do uso e cobertura do solo do ano de 2019, está em consonância com o potencial intrínseco de recarga de aquíferos, pois como verificado no levantamento de cobertura vegetal, muitas RA possuem baixos percentuais de áreas verdes urbanas em seus padrões.

Para uma melhor visualização dessa condição das áreas verdes, na tabela 14 foram sistematizados os dados já analisados anteriormente (i) percentuais dos riscos ecológicos do ZEE-DF (de 3 a 5)<sup>60</sup>, (ii) se houve projeto urbano antes da ocupação<sup>61</sup>; (iii) o percentual de áreas verdes urbanas, associada a uma escala de baixo (0% a 20%), médio (20% a 30%) e alto (30% a 100%)<sup>62</sup> e (iv) dados dos percentuais das áreas de maior potencial para armazenamento de água, acima de 300 mm<sup>63</sup>. Com isso temos uma matriz para avaliar se há compatibilidade entre as áreas verdes urbanas e a infraestrutura ecológica no contexto de prover serviços ambientais hídricos, especialmente a recarga de aquíferos:

<sup>60</sup> Vide Tabela 11

<sup>61</sup> Vide Levantamento da seção 4.2.1

<sup>62</sup> Vide Tabela 12

<sup>63</sup> Vide Tabela 14

**Tabela 14** Sistematização dos dados para avaliação das RAS com percentuais de áreas verdes compatíveis com a infraestrutura ecológica hídrica.

RA	% EM AREA DE RECARGA ZEE-DF	Projeto Urbano?	%AV EM AREA OCUPADA	Tipologia	%Potencial Água no Solo (S)	Padrão Compatível com a infraestrutura ecológica hídrica?
PARK WAY	69,19	SIM	58%	Alta taxa A.V	40,54	Sim. Suas áreas verdes urbanas auxiliam na provisão de serviços ambientais hídricos
LAGO NORTE	23,71	SIM	58%	Alta taxa A.V	12,54	Não. Áreas verdes urbanas não desempenham serviço ambiental de provisão hídrica
PLANO PILOTO	99,66	SIM	47%	Alta taxa A.V	47,70	Sim. Suas áreas verdes urbanas auxiliam na provisão de serviços ambientais hídricos
LAGO SUL	74,00	SIM	40%	Alta taxa A.V	31,59	Sim. Suas áreas verdes urbanas auxiliam na provisão de serviços ambientais hídricos
SUDOESTE/ OCTOGONAL	100,00	SIM	38%	Alta Taxa de A.V	41,53	Sim. Suas áreas verdes urbanas auxiliam na provisão de serviços ambientais hídricos
CANDANGOLÂNDIA	100,00	SIM	35%	Média taxa A.V	37,92	Sim. Suas áreas verdes urbanas auxiliam na provisão de serviços ambientais hídricos
NÚCLEO BANDEIRANTE	89,63	SIM	35%	Alta taxa A.V	33,40	Sim. Suas áreas verdes urbanas auxiliam na provisão de serviços ambientais hídricos
SIA	99,93	SIM	31%	Baixa taxa A.V	30,63	Sim. Suas áreas verdes urbanas auxiliam na provisão de serviços ambientais hídricos
JARDIM BOTÂNICO	54,45	NÃO - Diretriz	31%	Alta taxa A.V	8,95	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
ARNIQUEIRA	34,28	NÃO -Diretriz	29%	Média Taxa A.V	8,00	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
FERCAL	51,50	NÃO - Diretriz	29%	Média Taxa A.V	0,00	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
ÁGUAS CLARAS	80,97	SIM	27%	Média Taxa A.V	28,93	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
VARJÃO	4,36	SIM-Posterior	27%	Média taxa A.V	0,93	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
GUARÁ	96,12	SIM	25%	Baixa taxa A.V	22,71	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
SOBRADINHO	95,22	SIM	24%	Baixa taxa A.V	21,84	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
PLANALTINA	80,00	SIM	24%	Baixa taxa A.V	15,10	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica

<b>RECANTO DAS EMAS</b>	81,64	SIM	22%	Baixa taxa A.V	19,94	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>SAMAMBAIA</b>	97,09	SIM	20%	Baixa taxa A.V	21,49	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>CRUZEIRO</b>	100,00	SIM	20%	Baixa taxa A.V	20,06	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>BRAZLÂNDIA</b>	98,61	SIM	19%	Baixa taxa A.V	17,02	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>GAMA</b>	99,98	SIM	18%	Baixa taxa A.V	17,23	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>VICENTE PIRES</b>	61,97	NÃO	18%	Baixa taxa A.V	6,79	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>SOBRADINHO II</b>	80,87	SIM	17%	Baixa taxa A.V	11,01	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>ITAPOÃ</b>	97,83	NÃO - Diretriz	16%	Baixa taxa A.V	14,43	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>SANTA MARIA</b>	99,48	SIM	15%	Baixa taxa A.V	15,51	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>RIACHO FUNDO</b>	78,65	SIM	14%	Baixa taxa A.V	12,19	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>SCIA</b>	98,69	SIM	12%	Baixa taxa A.V	12,29	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>PARANOÁ</b>	87,51	SIM	11%	Baixa taxa A.V	11,62	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>TAGUATINGA</b>	99,82	SIM	11%	Baixa taxa A.V	11,58	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>PÔR DO SOL</b>	91,27	NÃO- Diretriz	8%	Baixa taxa A.V	6,12	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>SÃO SEBASTIÃO</b>	71,29	SIM	8%	Baixa taxa A.V	5,64	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>CEILÂNDIA</b>	100,00	SIM	6%	Baixa taxa A.V	6,00	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica
<b>RIACHO FUNDO II</b>	100,00	SIM	4%	Baixa taxa A.V	4,66	Não. Áreas verdes urbanas desempenham baixo serviço ambiental de provisão hídrica

Da tabela 14, depreende-se que as regiões com baixos percentuais de recarga de aquíferos e com baixo potencial de armazenamento de água no solo, são regiões que, do ponto de vista da provisão de serviços ambientais hídricos, permitem padrões de maior densidade construtiva. Também se verifica que mais de 20 RA apresentam um nível de desarticulação quanto as áreas propicias para provisão de serviços ambientais hídricos do tipo da recarga. A critério de exemplo os percentuais do padrão urbano da região do Lago Norte, em relação aos serviços hídricos, não apresentaram compatibilidade entre o percentual de áreas verdes e a infraestrutura ecológica. Por conseguinte, representa um padrão com 58% de áreas verdes urbanas, dentre as quais 27% se localizam em áreas privadas, mas que não se encontram em uma área que necessariamente demandaria a proteção de recarga de aquíferos. Contudo pode haver contribuição para outros tipos de serviços ambientais, tais como a melhoria do microclima ou serviços culturais como a ambiência paisagística.

Outro exemplo é a RA Arniqueira que possui média taxa de área verde, se insere em área com médio percentual de áreas de recarga e possui baixo armazenamento de água no solo, devido a sua pedologia de solos de baixa permeabilidade. Nesse contexto, as áreas verdes dessa RA poderiam estar associadas a outros serviços, como a estabilização do solo, frente a possíveis deflagrações de processos erosivos.

O mesmo ocorre na região do Varjão que apresentou o menor percentual de área para recarga, no entanto, podemos enquadrá-la em uma região com padrão de Média taxa de área verde.

A compatibilização de dados trazida na tabela 14 reitera o exposto no capítulo 1, seção 1.3.1 e 1.3.2, em que a delimitação de áreas verdes urbanas e seus percentuais de permeabilidade deveriam ser medidos com base nos condicionantes ecológicos e não por critérios dimensionais e percentuais das normativas urbanas.

Importa ressaltar que as RA com potencial para provisão de serviços de recarga de aquíferos, a partir dos dados do ZEE-DF, são as que apresentaram os padrões com menores percentuais de áreas verdes, sendo que dessas áreas a sua grande maioria apresenta projeto urbanístico, por fazem parte da primeira fase de ocupação do DF entre os anos 60 e 90, por exemplo, Ceilândia, Taguatinga, Gama e Paranoá, o que demonstra que mesmo que tenha havido preocupação acerca da delimitação de espaços livres de uso público, como discorrido na seção 4.2.1, esses padrões subutilizam o potencial ecossistêmico hídrico. Adicionalmente, essas regiões possuem percentuais maiores que 80% para áreas de recarga de aquíferos e percentual menores que 15% de áreas verdes urbanas. Quanto as áreas verdes privadas, caracterizadas pelas taxas de permeabilidade, delimitadas pela Lei de Uso e Ocupação do Solo – LUOS do DF, possuem taxas de permeabilidade nulas.

Do contrário, mais uma vez na região do Lago Norte, mesmo havendo baixo potencial para recarga de aquíferos, foram delimitadas taxas de permeabilidade que variam de 10% a 75%. Esse tipo de estratégia urbanística apresentada na tabela 15 representa o foco no desenho urbano, que gera o impacto que se apresenta no potencial de armazenamento de água no solo, demonstrando a desconexão dos parâmetros e padrões urbanos com os riscos ecológicos.

**Tabela 15** Comparativo áreas verdes privadas com percentuais de áreas de recarga.

RA	% EM AREA DE RECARGA ZEE-DF		% AV/AREA OCUPADA	% AV PRIVADA	A.V Privada – Taxas de Permeabilidade
			TOTAL		
<b>RIACHO FUNDO II</b>	100,00	4,66	4%	0,73%	Residencial com áreas de < 200, <300 ou <350, entre outras áreas não necessitam de taxa de permeabilidade podendo ocupar 100% da área. Em áreas onde há obrigação de TX P permite subsolo.
<b>CEILÂNDIA</b>	100,00	6,00	6%	2%	Possui unidades sem exigência de permeabilidade. Ex.: Unidade Residencial com áreas de < 200, <300 ou <350, entre outras áreas não necessitam de taxa de permeabilidade podendo ocupar 100% da área. Em áreas onde há obrigação de TX P permite subsolo.

<b>PARANOÁ</b>	87,51	11,62	11%	3,3%	Residencial com áreas de <200, <300 ou <350, entre outras áreas não necessitam de taxa de permeabilidade podendo ocupar 100% da área. Em áreas onde há obrigação de TX P permite subsolo.
<b>VARJÃO</b>	4,36	0,93	27%	14,79%	Taxa de Permeabilidade de 20% obrigatória em todas as unidades de ocupação do solo, com proibição de ocupação do subsolo.
<b>LAGO NORTE</b>	23,71	12,54	58%	40,07%	Taxa de Permeabilidade de 20% a 75% obrigatória em nas unidades de ocupação do solo, com permissão de ocupação do subsolo.

Na RA Varjão os dados do potencial de armazenamento de água demonstram desarticulação, pois a LUOS delimita para a área uma taxa de permeabilidade obrigatória de 20% para todas as unidades em uma zona onde há baixa provisão de serviços ecossistêmicos hídricos. Contudo, diante dos levantamentos pedológicos e da geomorfologia do local, infere-se que a região possui solos com baixa taxa de infiltração e também regiões de rebordo, que podem acarretar elevado escoamento superficial.

A prática de descolamento entre as condições de suporte da infraestrutura ecológica e as decisões de padrões urbanísticos de ocupação urbana ocorrem de forma indiscriminada podendo ser observada inclusive em áreas onde um assentamento foi deslocado por estar em uma área de fragilidade ambiental, como no caso da RA do Paranoá. Essa cidade, que teve um estudo prévio de Impacto Ambiental, veio a ser implantada em área de recarga de aquíferos e adotou padrões urbanísticos de alta impermeabilização do solo.

Mesmo havendo o conhecimento sobre as fragilidades ambientais no território Distrital e as problemáticas de escopo hídrico, o direcionamento dado aos padrões urbanísticos só considerou os aspectos de renda para sua definição, a partir do loteamento mínimo. Pode se dizer que, para o DF em âmbito de políticas públicas, o único estudo que considera esses aspectos é o Zoneamento Ecológico Econômico Distrital, que delimitou no território subzonas as quais associam as características ecológicas e as possibilidades de uso para

manutenção de serviços ecossistêmicos, dentre as quais se incluem a RA Paranoá e entre outras. Ademais, o ZEE-DF trouxe como demanda para a política de ordenamento territorial, a necessária adequação dos padrões urbanísticos implantados no território, especialmente em áreas onde há maior interface com os riscos ecológicos, como Ceilândia, Taguatinga e Samambaia, instituindo a necessidade da implantação de um sistema com foco nas áreas verdes.

No entanto, para a gestão territorial a compreensão de como modificar os padrões urbanísticos ainda é uma incógnita, ocasionando tomadas de decisão como as exemplificadas por meio das taxas de permeabilidade das RA com interface sobre áreas de recarga de aquíferos, onde a posição da gestão urbana é de sempre considerar a situação fática, chancelando diretrizes que impactam os recursos hídricos subterrâneos e também superficiais, ao mesmo tempo que se utiliza dessas normativas para regularizar novas ocupações regulares e/ou informais.

Portanto, fica claro a necessária apropriação por parte dos gestores urbanos em avaliar o território urbano para além da situação fática, com a averiguação das possibilidades que impulsionarão melhorias na capacidade de provisão de serviços ambientais frente ao potencial ecossistêmico na região. Posto isso, as áreas verdes urbanas, públicas ou privadas, se apresentam como uma estratégia inicial para auxiliar a modificação dos padrões urbanísticos.



## **CAPITULO 5 | Avaliação do desempenho das áreas verdes públicas para ampliação da recarga de aquíferos em uma área urbana consolidada: o estudo da cidade do Paranoá no DF.**

Na seção anterior pode ser verificado o impacto dos padrões urbanísticos com reduzido percentual de áreas verdes urbanas associado a infraestrutura ecológica de provisão hídrica frente a problemática de estresse hídrico no DF. Verificou-se, ainda, que mesmo havendo conhecimento sobre essas fragilidades, a postura observada na gestão urbana é de inércia frente a mudanças em suas normativas de uso e ocupação do solo aplicadas tanto a regularização de áreas informais quanto a projetos regulares. Tornando a incompreensão de como adequar os padrões urbanísticos frente aos serviços ecossistêmicos regionais, especialmente os hídricos, uma demanda que necessita de maior apreciação pelos estudos urbanos no DF. Isso, ainda, é verdadeiro mesmo tendo em conta os estudos de ISAIAS (2008); DISTRITO FEDERAL, (2017,2019)<sup>64</sup>; CASTRO, (2017); SERAPHIM, (2018); OLIVEIRA, (2019); SANCHES (2019); BRITO (2020) que demonstraram a desarticulação dos padrões urbanos com relação a paisagem no território distrital.

Por conseguinte, a partir das associações das áreas verdes urbanas como instrumento de provisão de serviços ambientais hídricos, essa seção busca avaliar a possibilidade de *retrofit* urbano em padrões urbanísticos do Distrito Federal que tratam de ampliar as taxas de permeabilidade do solo, entendidas nesse trabalho como as áreas verdes urbanas privadas de acordo com os riscos ecológicos altos e muito altos relativos à recarga de aquíferos. A estratégia utilizada será a ampliação de áreas verdes urbanas (públicas e privadas) tendo como método de medição a metodologia de LIMA et al., (2017), a partir das conclusões trazidas na seção 3.3.

Como estudo de caso, optou-se por avaliar na Região Administrativa do Paranoá o Serviço Ecossistêmico Hídrico Abastecimento de água, como intitulado pela metodologia MapES, mas que para esse trabalho entende-se como sendo

---

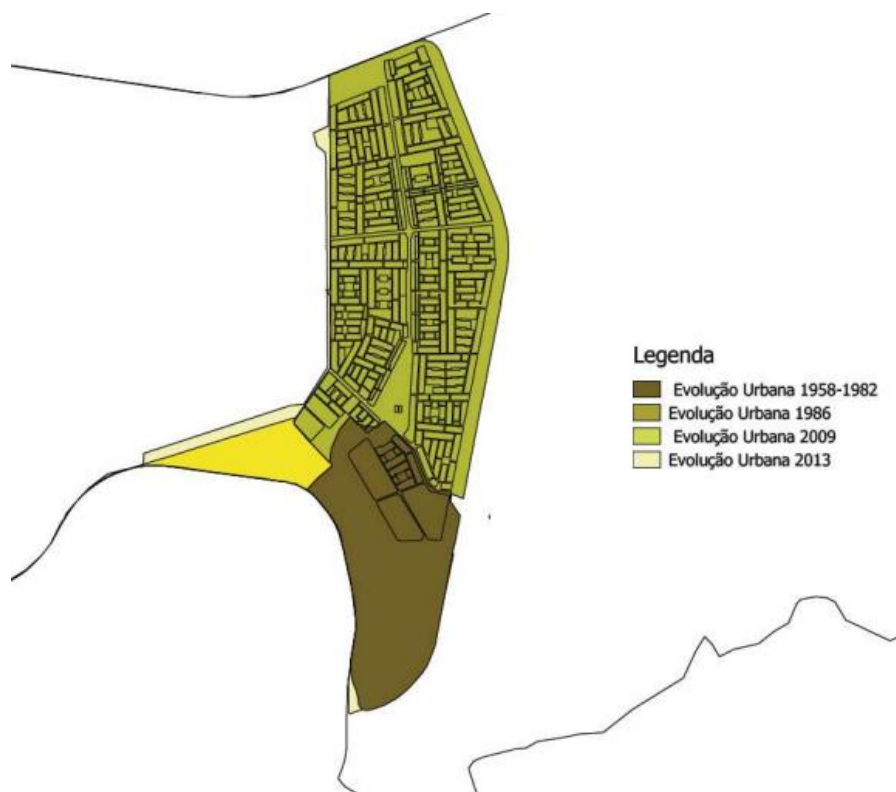
<sup>64</sup> Matriz Ecológica do Zoneamento Ecológico- Econômico do Distrito Federal.

subsídio para melhoria nos processos de recarga de aquíferos que podem auxiliar posteriormente no abastecimento de água. A escolha decorre dos dados demonstrado na problemática da pesquisa.

### **5.1. Histórico de Ocupação e Normativas urbanísticas em ocupação urbana da RA Paranoá.**

Como visto, a cidade do Paranoá está assentada em uma das áreas de sobre recarga de aquífero com indicação de riscos ecológicos pelo ZEE-DF, no entanto, seus padrões urbanos com baixa disponibilidade de cobertura vegetal reduzem a oportunidade de prestação de serviços ambientais hídricos, devido ao selamento e impermeabilização do solo (SERAPHIM, 2018) tanto em suas áreas públicas como privadas.

No contexto da ocupação da região, o Paranoá surge a partir das ocupações informais, em forma de acampamento, nas proximidades do Lago Paranoá, especificamente na cota 1.100 m do atual Lago Paranoá. O Estudo de Impacto Ambiental realizado na década de 1990, para definir por sua manutenção ou realocação, apontou os fatores geomorfológicos como risco a manutenção da população que ali residia. Assim sendo, indicou área próxima à antiga invasão para que fosse realizado um projeto urbanístico com vistas a provisão habitacional. A Figura 29 mostra o processo de ocupação da região, quando o empreendimento foi realocado para uma área a montante da ocupação original. É importante salientar que fortaleciam os apontamentos ambientais, a ideia de afastamento de assentamentos de baixa renda das margens do Lago Paranoá como forma de conservar os parâmetros trazidos pelo plano de Lucio Costa para a nova Capital Federal.



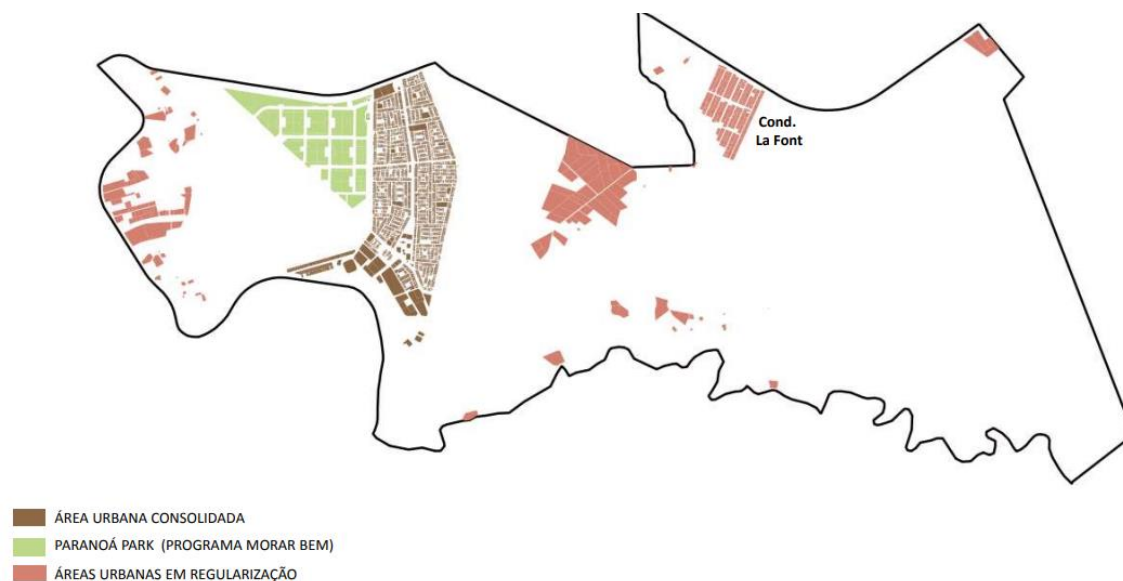
**Figura 29** Evolução Urbana Paranoá. Fonte: DISTRITO FEDERAL (2018)

Posterior a alocação da população à montante da antiga ocupação, o GDF criou na antiga área o Parque Urbano do Paranoá<sup>65</sup>, cerca de 41,79 hectares, o qual tinha o intuito de preservar o ecossistema da área, reflorestar as áreas degradadas das margens do Lago Paranoá pela ocupação urbana assim como ofertar áreas de lazer à comunidade. Apesar de inicialmente intitulado como Parque Urbano a área verde criada foi incluída na categoria de área verde urbana, a área se inclui na categoria de Parque Ecológico, no âmbito do Sistema Distrital de Unidades de Conservação da Natureza – SDUC<sup>66</sup>.

Nessa nova área a montante além da nova cidade do Paranoá, no decurso de sua ocupação, outros parcelamentos foram surgindo na área, parcelamentos regulares e irregulares, surgiram na região, consolidando tipologias de cidade projetada, Zonas Especiais de Interesse Social e Áreas irregulares em processo de regularização fundiária – ARIS e ARINE, como ilustra a Figura 30 a seguir.

<sup>65</sup> Lei nº 1.438, de 21 de maio de 1997 - Cria o Parque Urbano do Paranoá

<sup>66</sup> Lei Complementar nº 827 de 22 de julho de 2010 - institui o Sistema Distrital de Unidades de Conservação da Natureza – SDUC, bem como estabelece critérios e normas para a criação, implantação, alteração e gestão das Unidades de Conservação no território do Distrito Federal.



**Figura 30** Ocupações urbanas na Região Administrativa do Paranoá.  
 Fonte: DISTRITO FEDERAL (2018)

Com vistas a avaliação de um padrão elaborado no âmbito do GDF e a avaliação dos parâmetros normativos da Lei de Uso e Ocupação do Solo, optou-se por focar o estudo de caso no padrão da área urbana consolidada, que data da década de 80. Cabe salientar que ao calcular o percentual de cobertura vegetal foi desconsiderada a poligonal do parque, devido a sua classificação como parque ecológico. Atualmente na área de ocupação urbana da RA Paranoá existem cerca de 0,66 km<sup>2</sup> de área verde, como visto na seção 4.3, dentre esse total 0,11 km<sup>2</sup> se inserem no padrão de áreas verdes onde se encontram praças, canteiros do sistema viário e áreas *non aedificand* gramadas, que integram o percentual de bens de uso comum trazidos pela lei de parcelamento do solo Lei nº 6.766/79 e suas atualizações. As áreas verdes privadas, são quase inexistentes, pois os parâmetros urbanos preconizados pela legislação de uso do solo distrital possibilitam, para a região, a taxa de ocupação total do lote, inexistindo taxas de permeabilidade. Corroborar essa observação o estudo de UST de CASTRO (2017) que diz ser o padrão urbano da região do Paranoá, de alta taxa de urbanização e terrenos de até 250 m, como pode ser visto na Figura 31 a seguir.



**Figura 31** Padrão Urbanístico do Paranoá com delimitação das tipologias de áreas verdes do projeto inicial. Fonte: autora elaborado com dados do SISDUC/DF

A LUOS do Distrito Federal, que indica os parâmetros urbanísticos para os parcelamentos consolidados ou em aprovação<sup>67</sup>, de acordo com a Memória Técnica (DISTRITO FEDERAL, 2017a) elaborada pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEDUH), discorre que contribuíram para a definição das Taxas de Permeabilidade: (i) o estabelecido nas normas de uso e ocupação do solo e nos planos diretores locais existentes; (ii) os levantamentos da ocupação atual dos lotes; (iii) os textos e mapas elaborados no âmbito dos trabalhos relativos ao Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal – ZEE-DF (DISTRITO FEDERAL, 2017).

Ao contrário do que se apresenta, as taxas de permeabilidade aplicadas para as áreas onde recaem a LUOS não se apresentam em compatibilidade com os estudos do ZEE-DF, especialmente as áreas de recarga de aquíferos onde se insere as regiões de menor cobertura vegetal do DF, como discorrido na seção anterior. Esse fator ocorre, pois, a taxa de permeabilidade da LUOS, em alguns casos, não exige uma permeabilidade mínima para lotes com áreas que variam entre 200 m<sup>2</sup>, 350m<sup>2</sup> e até em lotes de 1.000 m<sup>2</sup>. No do Paranoá como a ocupação ocorre na forma de pequenos lotes unifamiliares que abarcam a não obrigatoriedade de permeabilidade, resulta uma grande área impermeável com impactos sobre o processo de provisão hídrica como demonstrado nos mapas da seção 4.4.

Ademais, no contexto dos estudos para elaboração dos parâmetros, a não exigência de taxas de permeabilidade não abarcou um estudo que determinasse que não seria necessário a infiltração, mas sim devido a predominância de áreas impermeáveis dada pela situação fática. A Memória técnica SEDUH reitera que as áreas com restrição ambiental não foram consideradas para definição da regra (DISTRITO FEDERAL, 2017a), ou seja, o regramento aplicado para as áreas de restrição ambiental não abarcou as áreas de recarga de aquíferos, o que demonstra que o entendimento urbano de áreas de restrição ambiental não

---

<sup>67</sup> Em virtude das particularidades territoriais do DF, a Lei de Uso e Ocupação do Solo recai sobre as áreas regulares do DF, sendo que para as áreas em processo de Regularização Fundiária são aplicadas Diretrizes Urbanísticas as quais baseiam-se na situação fática do parcelamento implantado. No caso do Conjunto Urbanístico de Brasília, que integra a área de conjunto tombado de Brasília recaem os parâmetros do Plano de Preservação do Conjunto Urbanístico de Brasília (PPCUB)

envolve as pautas hidrogeológicas, apesar de constar que os estudos e a articulação com os riscos ecológicos do ZEE-DF foram considerados.

Na Figura 32 a seguir exemplifica-se o padrão consolidado da RA Paranoá e as taxas de permeabilidade aplicadas pela LUOS. As áreas destacadas correspondem a lotes onde há percentual de 10% de permeabilidade e que são de uso Institucional.



**Figura 32** Taxa de Permeabilidade área consolidada Paranoá.

Fonte: Autora com dados SITURB/DF

Esse fato demonstra que, mesmo para o território distrital a pauta hídrica (presente desde o Relatório Belcher) e o conhecimento da necessária articulação dos padrões urbanísticos com as zonas de recarga de aquíferos não seja um paradigma novo, para a gestão urbana a articulação com os serviços

ecossistêmicos hídricos ainda está dicotômica, mesmo havendo o empenho em avaliar a matriz ambiental.

No quesito das áreas verdes públicas e privadas a exigência quanto ao percentual a ser destinado para integração ao domínio público pela legislação federal é antiga e bastante clara apesar de não se vincular a fatores majoritariamente ambientais, o que constitui sua maior fragilidade, apesar de não se poder cobrar esse tipo de preocupação na década de 1970 quando foi concebida a lei de parcelamento do solo. Quanto ao regramento sobre percentual mínimo ou máximo das taxas de permeabilidade esse não estão definidos em legislação própria ficando a cargo dos planos diretores de cada localidade e surgem no rastro das preocupações ambientais, a partir da década de 1980, mas sem uma assertividade quanto a sua mensuração. O certo é que a prática indica que essas taxas não têm dialogado com os riscos ecológicos locais sendo no contexto da gestão urbana definidas a partir do tamanho dos lotes, que por sua vez se relaciona com contexto socioeconômico da população que residirá no loteamento e/ou, quando definidos a posteriori da ocupação considerando a situação fática.

Contudo, importa ressaltar que mesmo havendo disponibilidade das taxas de permeabilidade mínima nos normativos e uma elevada disponibilidade de espaços livres públicos, é imprescindível que esses possuam uma cobertura do solo que também favoreça a prestação de serviços ambientais. Isso significa que as normativas não deveriam apenas se ater a percentuais, mas também ao tratamento dessas áreas.

Em estudo de SANTOS (2012) ao avaliar o grau de recarga de aquíferos em diferente usos e ocupações se pôde demonstrar o impacto do uso e cobertura do solo sobre o potencial de recarga de aquífero, a partir das combinações entre diferentes tipos de solo, uso e cobertura do solo, declividade e substrato geológico. O autor determinou que, considerando o território do Distrito Federal, regiões com solos tipo latossolo, cobertura florestal, declividades de 0% a 5%,



possuem em média 37,66% de taxa de recarga<sup>68</sup>. Em contrapartida, áreas com os mesmos aspectos físicos, mas com cobertura de solo exposto tem percentual reduzido, com média 19,79%, o que reitera os dados apresentando matriz de articulação das áreas verdes e infraestrutura ecológica da seção anterior.

## **5.2. Mapeamento dos serviços ambientais hídricos com aplicação do método MapES.**

Diante das considerações analíticas procedidas no tópico 5.1 com vistas a uma avaliação do impacto da alteração do uso e cobertura do solo que favoreça a infiltração se precederá um estudo de cenários sobre o padrão de ocupação da RA Paranoá, por meio de uma proposição de *retrofit* em seu tecido urbano nas áreas verdes públicas e privadas.

Nesse sentido, serão analisados seis cenários, a situação atual e os demais com alterações dos percentuais de áreas verdes públicas. O cenário (i) avalia a situação atual da área consolidada na região do Paranoá; no (ii) se propõe uma alteração das áreas verdes privadas, com mudança do parâmetro taxa de permeabilidade, de nula para 20% da área o lote. Cabe salientar que em virtude de uma alteração na taxa de permeabilidade, uma das alternativas para compensação construtiva é o aumento do potencial construtivo da área, o que acarreta na construção de mais pavimentos; no cenário (iii) se avalia o impacto das áreas verdes públicas em conjunto com os 20% de taxa de permeabilidade. Mesmo não se considerando os espaços territoriais especialmente protegidos, foi considerado mais dois cenários que avaliaram o impacto do parque a jusante da ocupação, sendo o cenário (iv) ocupação atual com o parque ecológico do Paranoá; o cenário (v) ocupação com taxa de permeabilidade 20% e o parque atual e (vi) ocupação com taxa de permeabilidade 20%, manejo das áreas verdes públicas e o parque ecológico.

Conforme já discorrido, como forma de mensuração do impacto de alteração das áreas verdes, foi utilizada a abordagem MapES, com avaliação das médias apresentadas nos histogramas. Os dados utilizados foram os mesmos para o

---

<sup>68</sup> Percentual referente ao volume precipitado.

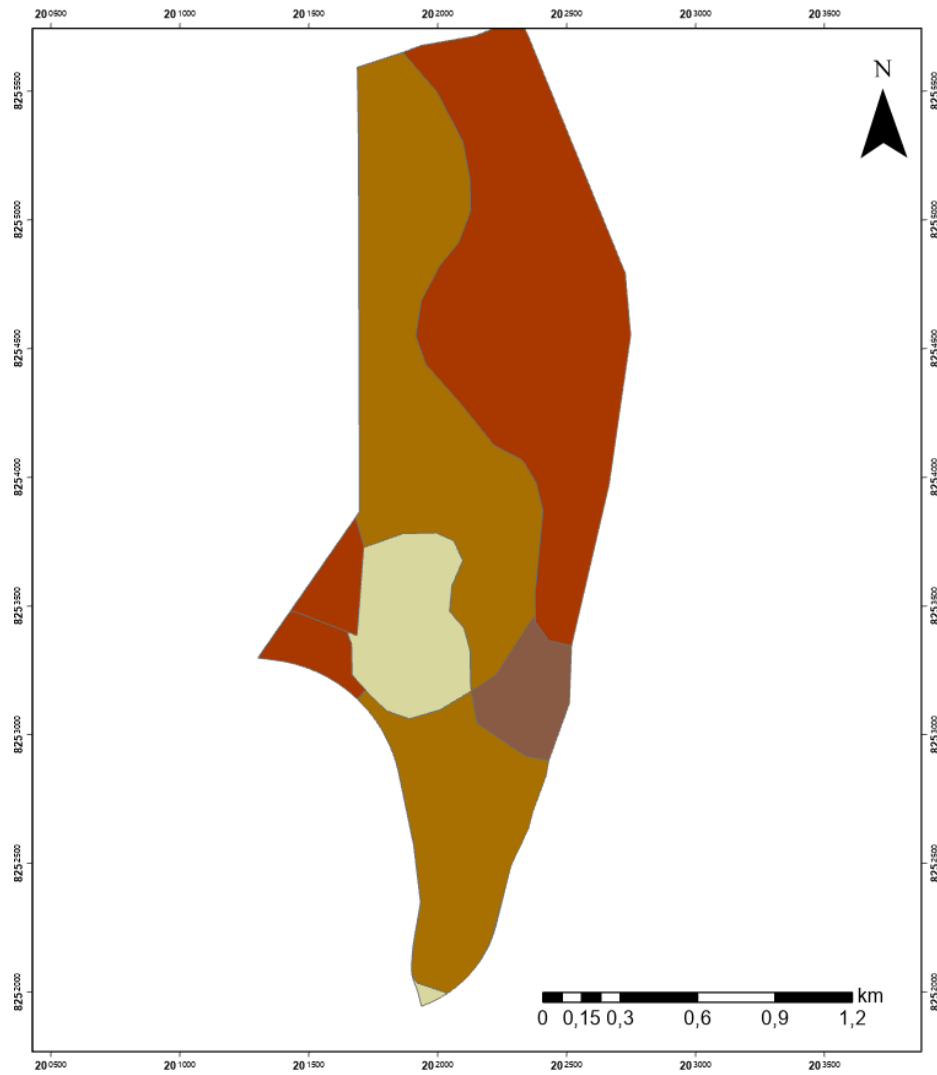
piloto da seção 3.4, que também foi utilizado no levantamento das áreas verdes da seção 4.3. Na tabela a seguir, são apresentados os cenários e as áreas para permeáveis e impermeáveis, assim como os dados vetoriais utilizados para o processamento dos dados a partir da ferramenta Python<sup>69</sup>.

**Tabela 16** Cenários urbanos com áreas verdes públicas e privadas.

<b>Cenários</b>	<b>Áreas Impermeáveis</b>	<b>Áreas Permeáveis</b>	<b>Dados</b>
<b>Cenário 1 - Atual</b>	2,23 km <sup>2</sup>	0,11 km <sup>2</sup>	Vetor Pedologia (ZEE-DF); Vetor Uso e Cobertura 2019 (SITURB-DF); Declividade 20 m(Raster)
<b>Cenário 2 – A.V.P (TX20)</b>	2,06 km <sup>2</sup>	0,28 km <sup>2</sup>	Vetor Pedologia (ZEE-DF); Vetor Uso e Cobertura 2019 (SITURB-DF); Declividade 20 m(Raster)
<b>Cenário 3 – A.V.P + A.V.PU</b>	1,80 km <sup>2</sup>	0,54 km <sup>2</sup>	Vetor Pedologia (ZEE-DF); Vetor Uso e Cobertura 2019 (SITURB-DF); Declividade 20m (Raster)
<b>Cenário 4 - Atual + Parque</b>	1,86 km <sup>2</sup>	0,48 km <sup>2</sup>	Vetor Pedologia (ZEE-DF); Vetor Uso e Cobertura 2019 (SITURB-DF); Declividade 20m (Raster)
<b>Cenário 5 – A.V.P (TX20) + Parque</b>	1,68 km <sup>2</sup>	0,65 km <sup>2</sup>	Vetor Pedologia (ZEE-DF); Vetor Uso e Cobertura 2019 (SITURB-DF); Declividade 20 m (Raster)
<b>Cenário 6- A.V.P + A.V.PU + Parque</b>	1,80 km <sup>2</sup>	0,92 km <sup>2</sup>	Vetor Pedologia (ZEE-DF); Vetor Uso e Cobertura 2019 (SITURB-DF); Declividade 20m (Raster)

No contexto geral, a região do Paranoá está localizada em uma área com predominância de solos do tipo latossolo vermelho e amarelo, Figura 33, que correspondem a solos do tipo A, com alto potencial de infiltração. Contudo, no uso e ocupação do solo atual, Figura 34 (a), se verifica a predominância de usos de alta impermeabilidade, o que acarretam em um baixo potencial de armazenamento de água, Figura 34 (b).

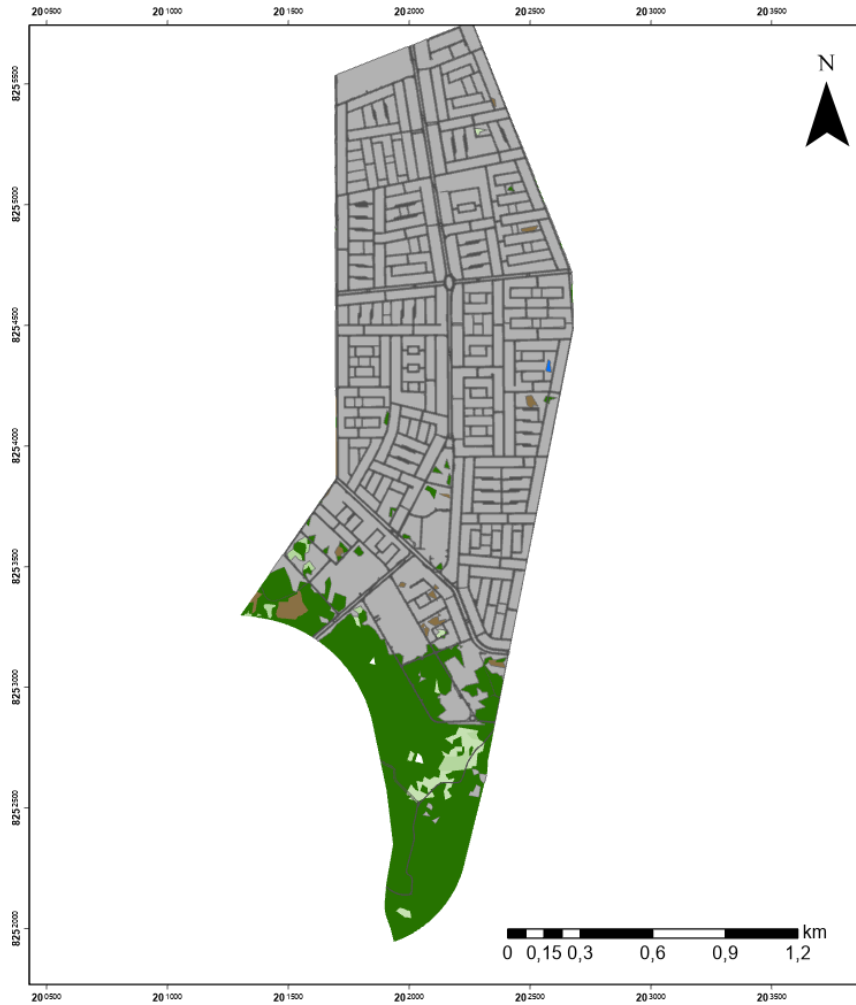
<sup>69</sup> O código Python para avaliação dos cenários foi desenvolvido pelo pesquisador e doutorando na área de Geotecnia da Universidade de Brasília Bruno Oliveira em parceria com a autoria desta pesquisa.



### Pedologia

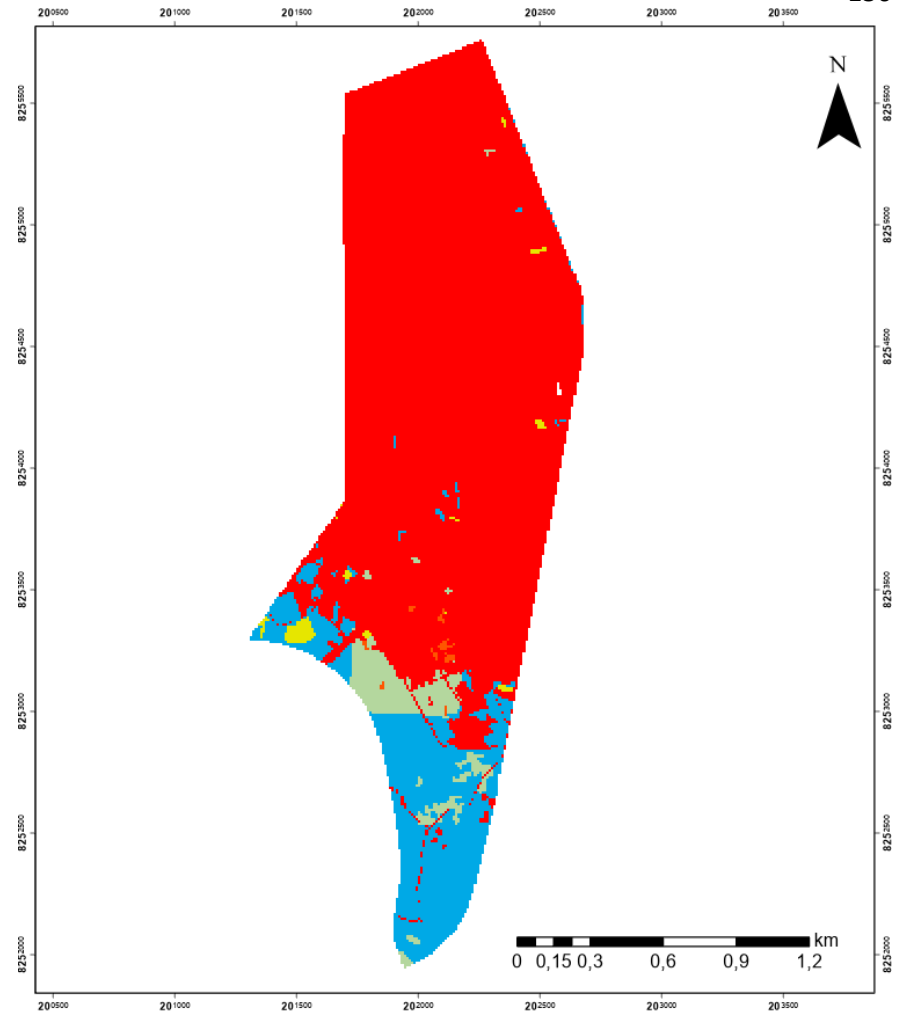
- CAMBISSOLO HÁPLICO
- LATOSSOLO VERMELHO (>35 e <=60% - argiloso)
- LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (>15 e <=35% - média)
- LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (>35 e <=60% - argiloso)
- NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

**Figura 33** Mapa Pedológico. Fonte: Zoneamento Ecológico Econômico- GDF (2017).



**Uso e Cobertura do Solo**

- Água
- Área Construída
- Formação Campestre
- Formação Florestal
- Formação Savânica
- Sistema Viário
- Solo Exposto



**Potencial de Armazenamento Atual**

- $\le 14,399105$
- $\le 74,299333$
- $\le 92,730172$
- $\le 336,938792$
- $\le 592,666687$

**Figura 34** (a) Uso e Cobertura do Solo e (b) Potencial de Armazenamento de água na área de análise (mm).

Dessa forma, a partir dos indicadores trazidos por Lima et. al (2017), tabela 7, se buscou manejar as áreas públicas e privadas de alta impermeabilidade e com potencial de recarga de aquíferos de acordo com os riscos ecológicos do ZEE-DF, com alteração da cobertura impermeável pela cobertura da classe formação campestre. A escolha desse tipo de cobertura foi devido ao seu alto indicador de provisão hídrica, especialmente para o serviço de recarga de aquíferos, intitulado pela abordagem MaPES de “Abastecimento de água” (AAG), e por ser caracterizado por vegetação herbácea, gramíneas e arbustos de pequeno porte, com baixo potencial de interceptação das águas precipitadas. Adicionalmente, tabela 17, se delimitam os demais indicadores vinculados a pedologia e declividade.

**Tabela 17** Classificação do Uso e cobertura da terra com os serviços ecossistêmicos Fonte: Lima et.al (2017).

<b>CN</b>	<b>Elemento Urbano</b>	<b>Classes</b>	<b>AAG</b>
-	Lagos, reservatórios e córregos	Água	100
<b>49</b>	Quadras, cobertura intra-lote	Formação campestre	90
<b>30</b>	Parques, quadras, cobertura intralote	Formação florestal	70
<b>35</b>	Parques, quadras, cobertura intralote	Formação savânica	80
<b>77</b>	Cobertura do solo Intralote, áreas sem pavimento	Solo exposto	10
<b>98</b>	Vias, ciclovias	Sistema viário	10
<b>98</b>	Edificações, áreas impermeabilizadas	Área construída	10
<hr/>			
<b>Declividade (%)</b>		<b>Classe</b>	<b>AAG</b>
		5	0,90
		10	0,80
		15	0,60
		20	0,60
		25	0,50
		100	0,50
<hr/>			
<b>Pedologia</b>		GLEISSOLO HAPLICO	0,60
		CAMBISSOLO HAPLICO	0,80
		LATOSSOLOS	1,00

Como discorrido, os cenários buscaram representar a alteração dos parâmetros de taxa de permeabilidade, que correspondem as áreas verdes privadas e o manejo das áreas verdes públicas impermeabilizadas e ou de solo exposto, Figura 35.

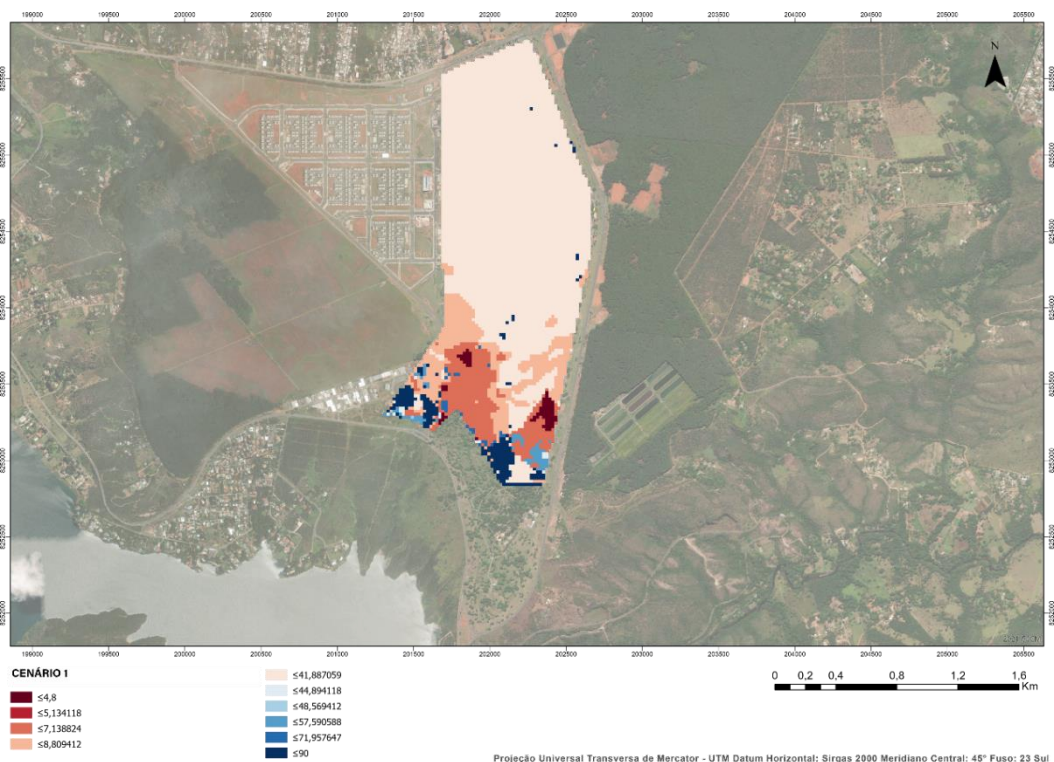


**Figura 35** Uso e Cobertura do Solo com taxa de permeabilidade e áreas pública manejadas.

Adicionalmente, foram avaliados também o impacto do parque ecológico na região, apesar de não ser computado no quesito de áreas verdes desta pesquisa.

### 5.2.1. Processamento dos dados e Resultados

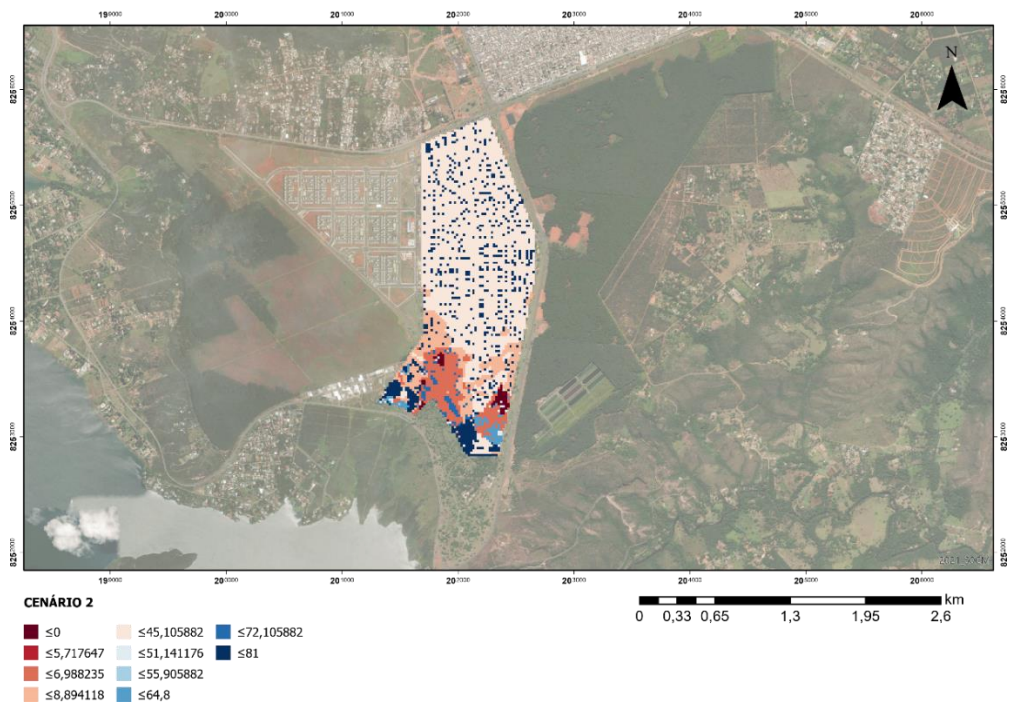
A partir dos dados do Cenário 1, que representa a situação de uso e ocupação do solo atual da área, foi avaliada a provisão ambiental hídrica na área, Figura 36.



**Figura 36** Cenário 1 - Atual.

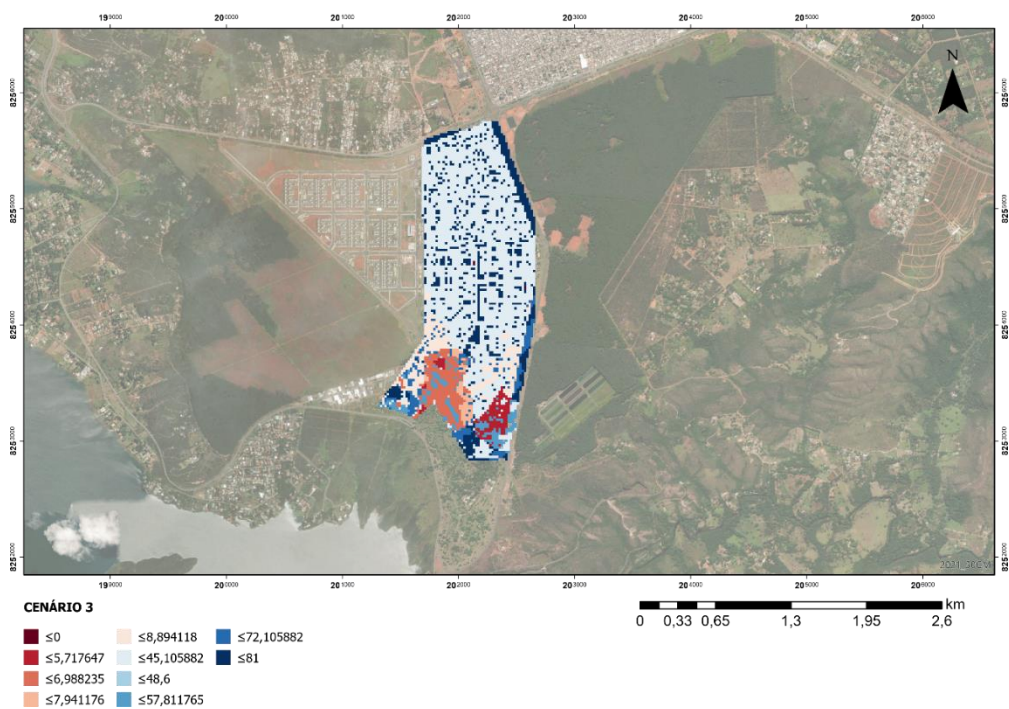
A média dos resultados demonstrou que a região possui um indicador de 12,11, em uma escala de 0 a 100, de serviços ecossistêmicos hídricos de provisão água.

Quando considerado o Cenário 2, ou seja, alteradas as taxas de permeabilidade de 0% para 20%, Figura 37, se verifica um aumento de cerca de 66% na atividade ecossistêmica hídrica de provisão água (média de 20,14).



**Figura 37** Cenário 2 – Área Verde Privada com taxa de permeabilidade 20%.

Com a consideração das áreas verdes privadas e o manejo das áreas verdes públicas, que atualmente possuem solo exposto ou impermeabilizado, Cenário 3, a média sobe para 25,49 representando um aumento de cerca de 210% em relação ao Cenário 1 (atual) e de 26% em relação ao Cenário 2.



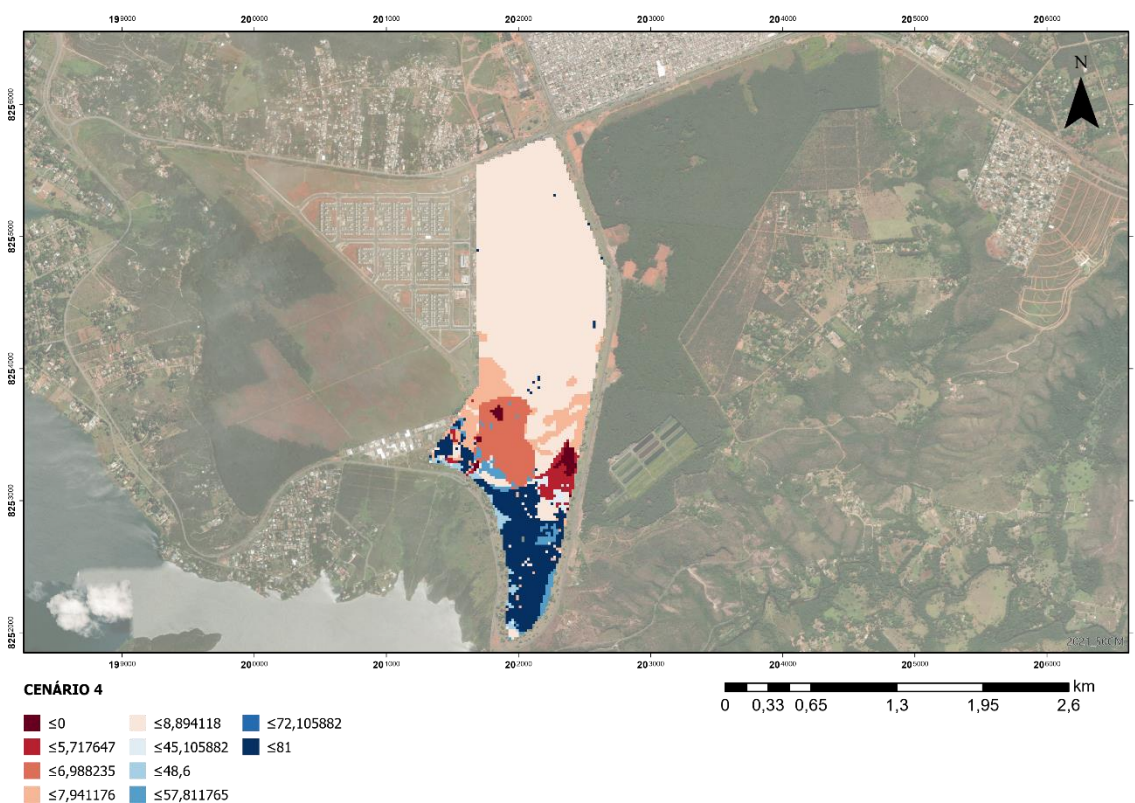
**Figura 38** Área Verde Privada e Área verde Pública.



Mesmo que as áreas verdes urbanas aqui conceituadas não abarquem os espaços territoriais especialmente protegidos optou-se pela criação de cenários incluindo o parque ecológico a fim avaliar e comparar o impacto do manejo e alteração de parâmetros em relação à delimitação de grandes áreas para provisão de serviços ecossistêmicos hídricos.

A Figura 39 demonstra que atualmente a provisão hídrica na região do padrão avaliado ocorre no parque ecológico, contudo, sua média, apesar de bastante semelhante, é menor (média de 20) do que a alteração das taxas de permeabilidade, correspondendo a um aumento de cerca de 60% em relação ao Cenário 1 atual.

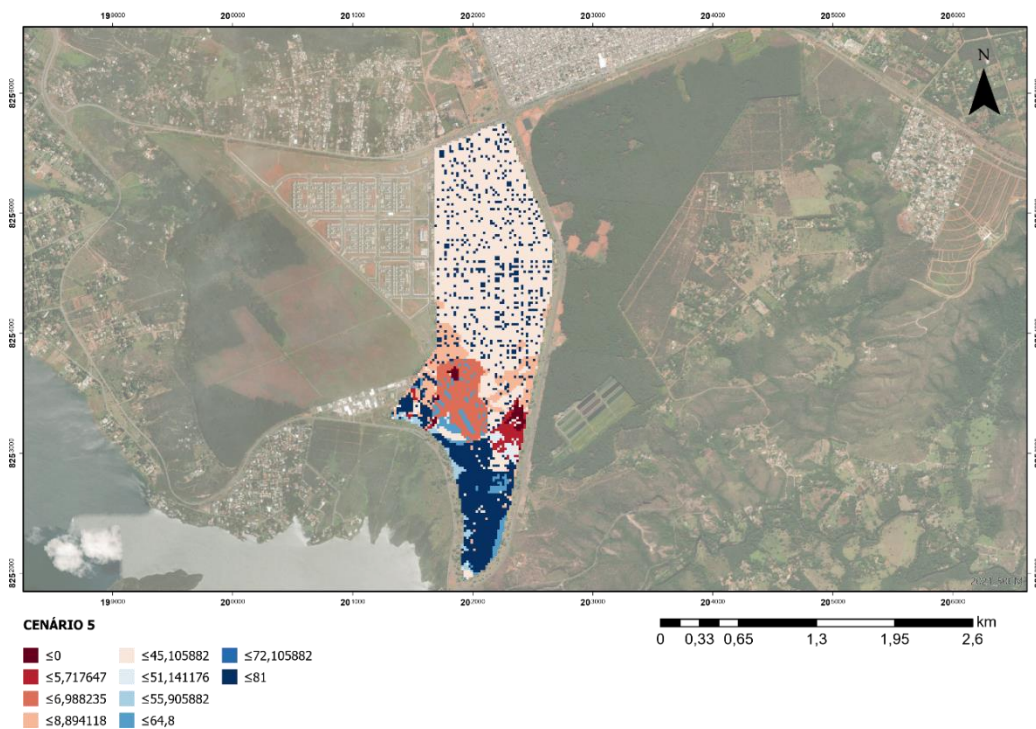
Do contrário, quando comparado com o Cenário 3, demarcação de taxas de permeabilidade e manejo das áreas verdes públicas, se verifica uma redução da oportunidade de provisão dos serviços de cerca de 25%.



**Figura 39** Cenário 4 – Atual com Parque Ecológico a jusante da ocupação urbana.

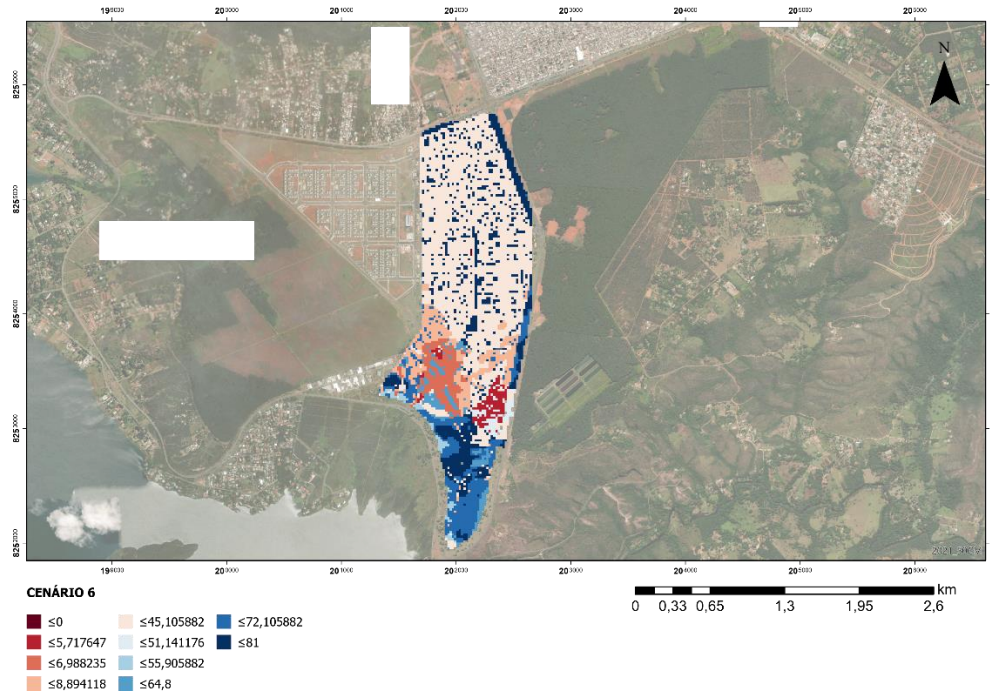
Ao avaliar o cenário 5, taxas de permeabilidade com o parque, se verifica um aumento de cerca de 36% (média de 20 para 27,20) em relação ao Cenário 4 somente com o parque. Em relação ao Cenário 3, que associa as áreas verdes

públicas e privadas, mas não inclui o parque, há uma diferença de 6% a mais para o Cenário 5; comparado ao cenário 1, há o aumento de cerca de 124%.



**Figura 40** Cenário 5 – Área Verde Privada com taxa de permeabilidade 20% e inserção de área do Parque a jusante da ocupação urbana.

No cenário 6, que inclui as áreas verdes públicas e privadas e o espaço territorial especialmente protegido, Figura 40, se verifica o aumento da média de 20,01 para 31 em relação ao estado do Cenário 4, cerca de 55%. Em relação ao cenário 1 há um aumento de 155%.



**Figura 41** Cenário 6 - Área Verde Privada com taxa de permeabilidade 20% e inserção de área do Parque a jusante da ocupação urbana.

A tabela 18, resume o comparativo entre os cenários, onde depreende-se que do ponto de vista das áreas verdes urbanas, o *retrofit* por meio da alteração das taxas de permeabilidade intralote e do manejo das áreas verdes públicas, de áreas impermeabilizadas para implantação de uma cobertura vegetal de maior potencial de infiltração, quando alocados sobre uma infraestrutura ecológica passível de prover serviços ecossistêmicos hídricos como a área analisada, apresenta resultados que podem endereçar estudos preliminares quanto ao desenho de parâmetros e delimitação de áreas verdes públicas, assim como suas vocações.

**Tabela 18** Comparativo entre cenários.

<b>Cenários</b>	<b>Médias de provisão dos serviços hídricos com vistas a recarga dos aquíferos (0 – 100)</b>	<b>Comparação cenários retrofit com atuais</b>	<b>Aumento percentual com retrofit (%)</b>
<b>Cenário 1 - Atual</b>	12,11	-	-
<b>Cenário 2 – A.V.P (TX20)</b>	20,14	CEN 1 X CEN 2	26,6%
<b>Cenário 3 – A.V.P + A.V.PU</b>	25,49	CEN 1 X CEN 3	110%
<b>Cenário 4 - Atual + Parque</b>	20,01	-	-
<b>Cenário 5 – A.V.P (TX20) + Parque</b>	27,20	CEN 4 X CEN 5	36%
<b>Cenário 6- A.V.P + A.V.PU + Parque</b>	31,00	CEN 4 X CEN 6	55%

Adicionalmente, quando avaliado o potencial de armazenamento de água no solo a partir dos dados da seção 4.3 no padrão analisado, verificou-se que, para o cenário 1, cerca de 4% da área armazena valores acima de 300 mm de água. A partir da construção de um novo mapa de CN, com as intervenções do cenário 4, o percentual de potencial de armazenamento de água no solo, passou para 24%, caracterizando o potencial de manejo das áreas atualmente impermeabilizadas para áreas com cobertura vegetal, as enquadrando no conceito de áreas verdes urbanas adotado nesta pesquisa.

## CONCLUSÕES

A presente pesquisa buscou avaliar o papel das áreas verdes inseridas nos padrões urbanos com foco na provisão de serviços ambientais hídricos e para tanto percorreu um caminho metodológico que se inicia com a revisão bibliográfica sobre o tema. A título de conclusão vale destacar os diferentes resultados que se chegou nas diferentes etapas ao longo do caminho percorrido com vistas a verificação das hipóteses: (i) Padrões urbanísticos com maior percentual de áreas verdes contribuem para garantia e promoção de serviços ambientais hídricos; (ii) Os percentuais de áreas verdes públicas e privadas devem ser delimitados a partir da combinação entre as necessidades urbanísticas e a infraestrutura ecológica para provimento de serviços ambientais.

Em um primeiro momento foi verificado que as áreas verdes urbanas possuem uma diversidade de conceitos, mas que, em geral, não foram concebidas visando explorar seu potencial de prover e manter os ciclos naturais.

A partir da base conceitual historicamente consolidada, a pesquisa verificou a necessidade de identificar novas características e parâmetros para expressar o que seriam áreas verdes urbanas, não mais vinculados a fatores dimensionais, percentuais ou socioeconômicos nas cidades, como os tradicionais utilizados no desenho urbano, mas sim a partir do conhecimento dos serviços ecossistêmicos produzidos e de sua infraestrutura ecológica.

Esse olhar levou a necessidade de uma articulação entre desenho e as particularidades físicas de cada região, fomentando o conhecimento da infraestrutura ecológica local com vistas à manutenção dos ciclos naturais.

Tendo em conta essa necessidade, a pesquisa avaliou metodologias que possibilitam avaliar as áreas verdes urbanas do ponto de vista de sua provisão de serviços ambientais. Nessa etapa se validou o entendimento que as áreas verdes urbanas contribuem para manutenção da continuidade da provisão dos serviços ecossistêmicos quando articuladas com a infraestrutura ecológica.

Adicionalmente, a partir da avaliação metodológica, evidenciou que a cobertura vegetal possui uma relação diretamente proporcional a sua capacidade de

provisão dos serviços ecossistêmicos, especialmente os hídricos. O método MapES, aplicado a uma área de estudo piloto, pode contribuir com esse entendimento além de demonstrar sua aplicabilidade para o monitoramento da provisão hídrica em áreas urbanas.

Acerca desse método, a pesquisa verificou que sua aplicação pode comparecer em escalas diversas, contudo, possui dependência com a qualidade dos dados e não se pode mensurar a provisão ecossistêmica de um dado serviço em uma região em que não há características ambientais para tal evento. Dessa forma, ficou evidente outra necessidade identificada pela pesquisa que é a de realização de um zoneamento prévio da paisagem a fim de definir a localização de áreas verdes e os serviços que essas podem prover.

Ademais, salienta-se que, em virtude do uso das métricas da metodologia, que foi constituída para uma sub bacia com características territoriais rurais e urbanas, os valores obtidos como resultados devem ser relativizados, em especial quando as atividades ecossistêmicas dos solos urbanos divergem dos não antropizados.

Dessa forma, percorrido o caminho da compreensão das áreas verdes urbanas para provisão de serviços ambientais hídricos e avaliada as metodologias que podem ser aplicadas para a estruturação de um sistema de áreas verdes com esse fim (capítulos 1 ao 3), se consolidou as questões trazidas pela hipótese da pesquisa e delimitou os passos para avaliação da problemática hídrica no Distrito Federal com foco na disponibilidade de áreas verdes nos padrões urbanos em prol da provisão de serviços ambientais hídricos.

Por conseguinte, a pesquisa evidenciou que o uso dos índices de áreas verdes urbanas, também baseados em percentuais vinculados a população, mascara a problemática do verde urbano, pois apresenta um dado que não endereça qualidade e, mais importante, não demonstra a capacidade das áreas verdes urbanas com a manutenção dos ciclos naturais, reiterando a necessidade do levantamento da infraestrutura ecológica local.

O estudo do Distrito Federal, a partir do levantamento das características ambientais intervenientes para provisão dos serviços ecossistêmicos hídricos trazidas pelo ZEE-DF e da análise da ocupação área urbana, verificou e apontou a desarticulação entre a decisão de locação de cidades frente às áreas de recarga de aquíferos e, ainda, entre a implantação das áreas verdes urbanas públicas e privadas de cada cidade do DF e sua capacidade de recarga de aquíferos. De modo geral, pode ser verificado que, no DF, não existe um padrão urbanístico com disponibilidade de áreas verdes urbanas que considere a infraestrutura ecológica, o que leva ao tipo de ocupação urbana com baixo potencial de retenção de água no solo atual.

Do ponto de vista das áreas verdes privadas, a pesquisa pode confirmar que a gestão urbana Distrital, por meio da Lei de Uso e Ocupação do Solo – LUOS, permanece instituindo percentuais de áreas permeáveis baseado em uma padronização da ocupação, com a consideração da situação fática e com foco nas dimensões da unidade imobiliária, o que acarreta em uma impermeabilidade quase total das bacias, como a região de Ceilândia e Paranoá, apontadas como áreas provedoras de serviços ecossistêmicos hídricos de recarga.

Em contrapartida, regiões como o Lago Norte, que não constitui, em totalidade, uma área de recarga de aquífero, apresentam um padrão urbanístico com um dos maiores índices de área verdes tanto privadas como públicas. Ainda nesse ponto da pesquisa, foi verificado que mesmo os padrões urbanos elaborados no âmbito do urbanismo moderno das cidades-parque o tratamento dado às áreas verdes e livres não considerou a provisão hídrica. Como resultado dessa etapa, constatou-se que o desenvolvimento de políticas e parâmetros urbanos no DF ainda se mantém, mesmo com recentes atualizações normativas de uso e ocupação do solo da LUOS, atrelada a unidade imobiliária do lote, desconexa das práticas ecológicas e da redução dos impactos urbanos sobre os recursos naturais.

As constatações acima fizeram com que a pesquisa considerasse as possibilidades de intervenção em áreas já ocupadas explorando os ganhos em termos de provisão hídrica por um manejo diferenciado das áreas existentes. O estudo foi realizado na cidade do Paranoá que se encontra em área de recarga e que possui sua mancha urbana quase que totalmente impermeabilizada.

Os cenários estudados indicaram ser possível, com alterações de tratamento de áreas verdes públicas e/ou privadas, alcançar grau diferenciado de melhoria na provisão hídrica, como apresentado no capítulo 5.

Contudo, se deve aqui salientar que os cenários de manejo avaliados representaram uma proposta incipiente de alteração e que os resultados buscaram discutir a importância não só da delimitação das áreas verdes urbanas articulada ao potencial ecossistêmico, mas de seu manejo adequado com foco nos recursos hídricos, que demonstraram ser um passo estratégico em prol da provisão de serviços ambientais, especificamente a recarga de aquíferos em áreas consolidadas do Distrito Federal.

Por fim, no intuito de contribuir com um caminho de mudança da gestão urbana no contexto do Distrito Federal, que se vincule a natureza com ênfase nos recursos hídricos recomenda-se que:

- As estratégias identificadas com vistas a validação das hipóteses subsidiem a revisão dos marcos legais vinculados a Lei de Uso e Ocupação do Solo no Distrito Federal, assim como das Leis de Parcelamento do Solo Urbano, que, atualmente, não se apropriam dos conceitos de áreas verdes urbanas como abordado nesta pesquisa e pouco se articulam com a infraestrutura ecológica;
- Novas pesquisas avaliem, com estudos de campo, os potenciais de infiltração dos solos nas áreas passíveis de recarga no DF, em virtude da alteração de suas características físicas com os processos de antropização;



- A elaboração e utilização de dado em menor escala e maior resolução espacial auxiliará o processamento de uma nova classificação supervisionada, possibilitando análises em maior detalhamento e a identificação das fitofisionomias, diferenciando os tipos de vegetação, que refletem, como apresentando, nos pesos e na provisão a depender do serviço almejado. Adicionalmente, os dados de maiores escalas e menores resoluções, podem auxiliar para fins de monitoramento, como discutido na pesquisa, ou o uso dos tradicionais, e amplamente utilizados, índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI);
- A Análise quanto às alterações das taxas de permeabilidade intralote devem ser aprofundadas, especialmente a inclusão de parâmetros como a localização dessas áreas no contexto da bacia e do lote, a fim de endereçar maiores oportunidades de provisão de serviços ambientais hídricos, pois o trabalho delimitou áreas a partir do centro do lote.

Com as conclusões aqui apresentadas se espera ter contribuído para um melhor delineamento da temática expressa nos objetivos da pesquisa e na confirmação das hipóteses, bem como as recomendações apresentadas neste trabalho possam trazer uma contribuição para uma revisão da prática do planejamento e gestão urbana no Distrito Federal no que se refere a um urbanismo mais sensível, a sua grande fragilidade ambiental, que é a água.

## REFERÊNCIAS

- ADASA, Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal. Diretrizes para o desenvolvimento de recarga artificial de aquíferos no Distrito Federal -. Brasília: ADASA - Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal., 2015. Disponível em: <[https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area\\_de\\_atuacao/recursos\\_hidricos/regulacao/resolucoes\\_estudos/recarga\\_artificial\\_aquiferos\\_df.pdf](https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/regulacao/resolucoes_estudos/recarga_artificial_aquiferos_df.pdf)>.
- ADASA, Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal. “Gestão da crise hídrica 2016–2018 - Experiências do Distrito Federal”. 1. ed. Brasília: Jorge Enoch Furquim Werneck Lima, 2018. 1v. (1, 1). Disponível em: <<https://www.adasa.df.gov.br/area-de-imprensa/noticias/1363-livro-gestao-da-crise-hidrica-2016-2018-experiencias-do-distrito-federal-esta-disponivel-para-a-populacao>>. Acesso em: 6 dez. 2021.
- ALBERTI, Marina. The Effects of Urban Patterns on Ecosystem Function. *International Regional Science Review*, v. 28, n. 2, p. 168–192, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0160017605275160>>. Acesso em: 6 set. 2021.
- ALEX, S. Projeto da Praça: Convívio e exclusão no espaço público. São Paulo. Editora SENAC, 2008, 291 p.
- AMARAL, Rubens do. A prestação de serviços ecossistêmicos e a dinâmica de estoque de dióxido de carbono no sistema de espaços livres de Belo Horizonte: estudo de caso na Regional Centro Sul. 2015. 186 f., Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. ;FASIABEN, M .C. R.; GARCIA, J. R.2012. Dinâmica do uso do solo e valoração de serviços ecossistêmicos: notas de orientação para políticas ambientais. *Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR)*.v. 25, p. 53-71.
- BARGOS, D.; MATIAS, L. Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana - REVSAU*. v.6. n.3,2011. p.172-188. Piracicaba, SP. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/66481/38295>. Acesso em: 25 jun. 2021.
- BENEVOLO, Leonardo.. História da cidade. 6.ed. ed. São Paulo : Perspectiva, 2015. 728 . p.
- BENINI, S.M; MARTIN, E.S. Decifrando as áreas verdes públicas. *Revista Formação*. Presidente Prudente-SP: Unesp. n.17, volume 2 –p. 63-80, 2011. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/455/489>. Acesso em: 25 jun. 2021.
- BEZERRA, MCL. .; ARRABAL DA ROCHA, M. .; MARIA CÔRTEZ BOGNIOTTI, G. . Qualidade dos espaços verdes urbanos: o papel dos parques de lazer e de preservação. *arq.urb*, [S. l.], n. 15, p. 128–142, 2016. Disponível em: <https://revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/235>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- BONAN, G. *Ecological Climatology: Concepts and Applications*. 3a edição ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2015.

- BONZI, Ramón Stock. EMERALD NECKLACE – INFRAESTRUTURA URBANA PROJETADA COMO PAISAGEM. *Revista LABVERDE*, n. 9, p. 106, 2015. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/84547>>. Acesso em: 23 set. 2020.
- BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa Cidades+Verdes. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/cidadesmaisverdes>. Acesso em: 15 mar. 2021.
- BRASIL. Lei n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Publicado no DOU de 20.12.1979.
- BRASIL. Lei n. 9.785, de 29 de janeiro de 1999. Altera o Decreto-Lei nº 3.365, de 21 de junho de 1941 (desapropriação por utilidade pública) e as Leis nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (registros públicos) e 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (parcelamento do solo urbano). Publicado no DOU de 01.02.1999 e retificado em 04.02.1999.
- BRAUMAN, Kate A.; DAILY, Gretchen C.; DUARTE, T. Ka'eo; et al.,. The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 32, n. 1, p. 67–98, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- BREUSTE, Jürgen; HAASE, Dagmar; ELMQVIST, Thomas. Urban Landscapes and Ecosystem Services. In: WRATTEN, Steve; SANDHU, Harpinder; CULLEN, Ross; et al., (Orgs.). *Ecosystem Services in Agricultural and Urban Landscapes*. 1. ed. [s.l.]: Wiley, 2013, p. 83–104. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118506271.ch6>>. Acesso em: 7 mar. 2021
- BRITO, Letícia Karine Sanches Brito. Avaliação do impacto das características geomorfológicas e padrões de uso e ocupação do solo urbano no Distrito Federal no manejo de águas pluviais. 2020. 201 f., il. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)—Universidade de Brasília, Brasília, 2020.
- BUCCHERI FILHO, A. T.; NUCCI, J. C. Espaços Livres, Áreas Verdes e Cobertura Vegetal no Bairro Alto da XV, Curitiba - PR. *Revista do Departamento de Geografia*, Curitiba: UFPR, n.18, p. 48-59, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47264/51000> Acesso em: 2 jun. 2021.
- BURKHARD, Benjamin; KROLL, Franziska; MÜLLER, F.; et al. Landscapes' capacities to provide ecosystem services - A concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*, v. 15, n. 1, p. 1–22, 2009.

- BURKHARD, Benjamin; KROLL, Franziska; NEDKOV, S; et al.,. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, v. 21, p. 17–29, 2012. (Challenges of sustaining natural capital and ecosystem services). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X11001907>>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- BURKHARD, Benjamin; MAES, Joachim. *Mapping Ecosystem Services*. 1. ed. Búlgaria: Pensoft Publishers, 2017. (1, 1). Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/315066978\\_Mapping\\_Ecosystem\\_Services/link/58dcd30aa6fdcc7c9f501b21/download](https://www.researchgate.net/publication/315066978_Mapping_Ecosystem_Services/link/58dcd30aa6fdcc7c9f501b21/download)>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- CAMPOS, José Elói Guimarães. Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a gestão dos Recursos Hídricos subterrâneos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 1, p. 4148., 2004. Disponível em: <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9485>. Acesso em: 20 set. 2021
- CARVALHO, Daniela Junqueira. Manejo de águas pluviais urbanas com solução de baixo impacto para área residencial: estudo de caso Setor Habitacional Taquari etapa 1 trecho 2/DF. 2018. 100 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- CAVALHEIRO, Felisberto; DEL PICCHIA, Paulo Celso Dornelles. ÁREAS VERDES: CONCEITOS, OBJETIVOS E DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO. In: ÁREAS VERDES: CONCEITOS, OBJETIVOS E DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO. Vitória – ES: 1o Congresso Brasileiro Sobre Arborização Urbana, 1992, v. 1, p. 7. (1).Disponível em:<<https://www.erambiental.com.br/var/userfiles/arquivos69/documentos/12924/CavalheiroDelPicchiaAreasVerdesConceitosObjDiretrizesPlanejamento.pdf>>.
- CASTELNOU, Antonio Manuel Nunes. Sentindo o espaço arquitetônico. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 7, n. 0, 2003. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/3050>>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- CASTRO, Kássia Batista de. Segurança hídrica urbana: morfologia urbana e indicadores de serviços ecossistêmicos, estudo de caso do Distrito Federal, Brasil. 2017. 204 f., il. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- CHMURA, G.; BURDICK, D.; MOORE, G. Recovering Salt Marsh Ecosystem Services through Tidal Restoration. Em: *Tidal Marsh Restoration: A Synthesis of Science and Management*. [s.l: s.n.]. p. 233–251.
- CODEPLAN. Atlas do Distrito Federal. Capítulo 2: Caracterização Ambiental. Disponível em:<https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2020-Cap%C3%ADtulo-2.pdf>. Acesso em 24 nov. 2021
- CODEPLAN. Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD) 2018. Disponível em: <http://www.codeplan.df.gov.br/>. Acesso em 24 jun 2021
- COSTANZA, Robert; D'ARGE, Ralph; DE GROOT, Rudolf; et al.,. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, n. 6630, p. 253–260, 1997. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/387253a0>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

- COSTANZA, Robert; DE GROOT, Rudolf; BRAAT, Leon; et al.,. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, v. 28, p. 1–16, 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212041617304060>>. Acesso em: 5 mar. 2021.
- CRANZ, G.; BOLAND, M. Defining the Sustainable Park: A Fifth Model for Urban Parks. *Landscape Journal*, v. 23, p. 102–120, 1 jan. 2004.
- CRULS, Luiz. Relatório Cruls: Relatório da Comissão exploradora do planalto central do Brasil. fac-sim. [s.l.]: Brasília : Senado Federal, Conselho Editorial, 2012. 22v. (Edições do Senado Federal). Disponível em: <<https://www2.senado.gov.br/bdsf/handle/id/574202>>. Acesso em: 5 dez. 2021.
- CUSTÓDIO, V., ARRUDA CAMPOS, A.C., MACEDO, S.S., QUEIROGA, E.F. Espaços Livres Públicos nas Cidades Brasileiras. *Revista Geográfica da América Central*. Costa Rica, número especial EGAL, p.1- 31, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2201/2097>. Acesso em: 2 jun. 2021.
- DANIELS, T. McHarg's theory and practice of regional ecological planning: retrospect and prospect. *Socio-Ecological Practice Research*, v. 1, 1 out. 2019.
- DEL RIO, V. Introdução ao Desenho Urbano No Processo De Planejamento. 1ª edição ed. São Paulo: Pini, 1999.
- DERKZEN, M. L.; PETER H. VERBURG; ASTRID JA VAN TEEFFELEN. REVIEW: Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands - Derkzen - 2015 - *Journal of Applied Ecology* - Wiley Online Library. Disponível em: <<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.12469>>. Acesso em: 30 jun. 2021.
- DISTRITO FEDERAL, Memória Técnica – Lei de Uso e Ocupação do Solo. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação -SEDUH. 2017a. Disponível em: <[http://www.seduh.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/10/memoria\\_tecnica.pdf](http://www.seduh.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/10/memoria_tecnica.pdf)>. Acesso em: 24 out. 2021.
- DISTRITO FEDERAL, Caderno Técnico Matriz Ecológica do Zoneamento Ecológico Econômico do DF - ZEE-DF. 2017b. Disponível em: [http://www.zee.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/ZEEDF\\_CT01\\_Matriz-Ecologica.pdf](http://www.zee.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/ZEEDF_CT01_Matriz-Ecologica.pdf) Acesso em 24 jun 2021
- DISTRITO FEDERAL, Lei nº 6.269, de 29 de janeiro de 2019. Institui o Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal - ZEE-DF em cumprimento ao art. 279 e ao art. 26 do Ato das Disposições Transitórias da Lei Orgânica do Distrito Federal e dá outras providências. Disponível em: [http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/912a61dfc1134ffebbb691aa3e864673e/Lei\\_6269\\_29\\_01\\_2019.html](http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/912a61dfc1134ffebbb691aa3e864673e/Lei_6269_29_01_2019.html) Acesso em 24 jun 2021.
- EGERTON, F. N. *Roots of Ecology: Antiquity to Haeckel*. First edição ed. Berkeley: University of California Press, 2012.
- EISENMAN, Theodore S. Frederick Law Olmsted, Green Infrastructure, and the Evolving City. *Journal of Planning History*, v. 12, n. 4, p. 287–311, 2013. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1538513212474227>>. Acesso em: 20 set. 2020.

- ELMQVIST, T. et al.,. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 14, p. 101–108, jun. 2015.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual para pagamento por serviços ambientais hídricos: seleção de áreas e monitoramento. - Portal Embrapa. Brasília, DF. EMBRAPA, 2019. 160 p. ISBN 978-85-7035-909-4. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/205733/1/Marco-Referencial-em-Servicos-Ecossistemas-2019.pdf>. Acesso em: 20 jun 2021.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapa Pedológico Digital - SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo. Brasília, DF. EMBRAPA Cerrados, 2004. ISSN: 1517-511. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC2009/26344/1/doc\\_120.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC2009/26344/1/doc_120.pdf). Acesso em: 20 jun 2021.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. – 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF. EMBRAPA, 2018. 356 p. ISBN 978-85-7035-8004 Disponível em: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1107206&biblioteca=vazio&busca=1107206&qFacets=1107206&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 20 jun 2021.
- FEE, E.; BROWN, T. M. The Public Health Act of 1848. *Bulletin of the World Health Organization*, v. 83, n. 11, p. 866–867, nov. 2005.
- FERREIRA, L. S. Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo. text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 25 jun. 2019.
- FIREHOCK, K., Walker, R.A. (2019) *Green infrastructure: map and plan the natural world with GIS*, Redlands: Esri press.
- FITZHUGH, T. W.; RICHTER, B. D. Quenching Urban Thirst: Growing Cities and Their Impacts on Freshwater Ecosystems. *BioScience*, v. 54, n. 8, p. 741–754, 1 ago. 2004.
- FORMAN, RICHARD. T. T. *Urban ecology: Science of cities*. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2015. v. 1p. 476
- FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. *Desenho Ambiental: uma introdução à arquitetura da paisagem com o paradigma ecológico*. São Paulo: Annablume, 1997.
- GAUDERETO, G. L. et al.,. Evaluation of ecosystem services and management of urban green areas: promoting healthy and sustainable cities. *Ambiente & Sociedade*, v. 21, p. e01203, 2018.
- GOLLEY, F. B. 1993. *A history of the ecosystem concept in ecology*. New Haven, CT: Yale University Press.
- GÓMEZ-BAGGETHUN, Erik; DE GROOT, Rudolf; LOMAS, Pedro L.; et al.,. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, v. 69, n. 6, p. 1209–1218, 2010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092180090900456X>. Acesso em: 5 mar. 2021.

- GÓMEZ-BAGGETHUN, Erik; BARTON, David N. Classifying and valuing ecosystem Services for urban planning. *Ecological Economics*, v. 86, p. 235-245, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092180091200362X>>. Acesso em: 5 mar. 2021.
- GUZZO, P.; CARNEIRO, R.M.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, H. Cadastro Municipal de Espaços Livres Urbanos de Ribeirão Preto (SP): acesso público, índices e base para novos instrumentos e mecanismos de gestão. *Rev. SBAU*, Volume 1, Número 1, 2006.
- HANNES, Evy. Desenho ambiental e forma urbana. O caso do bairro de Riverside. *Arquitextos*, São Paulo, ano 17, n. 196.07, Vitruvius, set. 2016 <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/17.196/6226>>.
- HEJNOWICZ, A. P. Ecosystem Services – Theories and Applications: Opportunities for Humanity to Regain Paradise. Tese—New York: University of York, mar. 2015.
- HIJIOKA, A.; SANTOS, A. A. D. da S.; KLINTOWITZ, D.; QUEIROGA, E. F.; ROBBA, F.; GALENDER, F. C.; DEGREAS, H. N.; ALVAREZ, K. L. B.; CYRILLO, K. O.; CERQUEIRA, L. L.; PRETO, M. H. F.; KAIMOTI, N. L. de A.; MAMBRINI, N. P.; OLIVEIRA, P. B. de; SOUZA, R. S. R. de; MACEDO, S. S.; BRITO, S. B. de; SARDÃO, U. D. C.; CUSTÓDIO, V. Espaços livres e espacialidades da esfera de vida pública: uma proposição conceitual para o estudo de sistemas de espaços livres urbanos no país. *Paisagem e Ambiente*, [S. l.], n. 23, p. 116-123, 2007. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i23p116-123. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/87854>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- HOBBS, R. J. Setting Effective and Realistic Restoration Goals: Key Directions for Research. *Restoration Ecology*, v. 15, n. 2, p. 354–357, 2007.
- HUNDT, G.; DANIELS, T. The Plan for the Valleys: Assessing the Vision of Ian McHarg and David Wallace. *Journal of Planning History*, v. 17, p. 153851321668158, 21 dez. 2016.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacaoe-sambientais/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 1 dez. 2021.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA Panorama- Dados estatísticos e geográficos sobre o Brasil, seus estados e municípios- 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/panorama>>. Acesso em: 25 jun. 2021.
- IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Brasil). Superintendência do Iphan no Distrito Federal. Superquadra de Brasília : preservando um lugar de viver / Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Superintendência do Iphan no Distrito Federal. – Brasília-DF, 2015. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/cartilha\\_unidade\\_vizinhanca\\_%CC%A7a\\_iphan\\_df.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/cartilha_unidade_vizinhanca_%CC%A7a_iphan_df.pdf). Acesso em: janeiro de 2022
- ISAIAS, Fábio Bakker. A sustentabilidade da água: proposta de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável)-Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- JORDAN, H. Public Parks, 1885-1914. *Garden History*, v. 22, n. 1, p. 85, 1994.

- KANDZIORA, M.; BURKHARD, B.; MÜLLER, F. Mapping provisioning ecosystem services at the local scale using data of varying spatial and temporal resolution. *Ecosystem Services, Special Issue on Mapping and Modelling Ecosystem Services*. v. 4, p. 47–59, 1 jun. 2013.
- KAUFFMAN, John; Steele, M.; Cummings, D.; Jaramillo, V. Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and, conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecology and Management - FOREST ECOL MANAGE*. 176. 1-12. 10.1016/S0378-1127(02)00227-X. (2003).
- KRONENBERG, J.; KLAUS, H. Synthesizing different perspectives on the value of urban ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, v. 109, p. 1–6, 31 jan. 2013.
- LAMAS, José M. Ressano Garcia. *Morfologia Urbana e Desenho da Cidade*. 3a ed. Porto, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkain, 2004
- LIMA, J. E. F. W. et al.,. Development of a spatially explicit approach for mapping ecosystem services in the Brazilian Savanna – MapES. *Ecological Indicators*, v. 82, p. 513–525, nov. 2017.
- LIMA, Larissa Ane de Sousa. Avaliação e monitoramento do potencial de prestação de serviços ecossistêmicos no Distrito Federal. 2019. 158 f., il. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas)—Universidade de Brasília, Brasília, 2019
- LIMA, R. A.; PEDREIRA, B. C. C. G.; CLEMENTE, E. P.; PRADO, R. B. El avance del conocimiento en el área de servicios ambientales (2004-2014). In: CONGRESO INTERNACIONAL DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LOS NEOTRÓPICOS, 4., 2015, Mar del Plata. De la investigación a la acción: libro de resúmenes. Mar del Plata: GEAP, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131580/1/2015-059.pdf> Acesso em: 20/05/2020.
- LIU, O. Y.; RUSSO, A. Assessing the contribution of urban green spaces in green infrastructure strategy planning for urban ecosystem conditions and services. *Sustainable Cities and Society*, v. 68, p. 102772, 1 maio 2021.
- LLARDENT, L. R. A. Zonas verdes y espacios libres en la ciudad. Madrid: Closas Orcoyen, 1982.
- LOBODA, C.R.; DE ANGELIS, B.L.D. Áreas Verdes Públicas Urbanas: Conceitos, Usos e Funções. *Ambiência*. Guarapuava, PR, v.1, n.1, p. 125-139, jan./jun, 2005
- LOMBARDI-NETO, F.; Bellinazzi Júnior, R.; Galeti, P. A.; Bertolini, D.; Lepsch, I. F.; Oliveira, J. B. Nova abordagem para o cálculo de espaçamento entre terraços. *Simpósio sobre terracimento agrícola*. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124
- LOMBARDO, M. A. Ilha de Calor nas Metrôpoles. O exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.
- LONDE, P. R.; MENDES, P. C. A INFLUÊNCIA DAS ÁREAS VERDES NA QUALIDADE DE VIDA URBANA. *Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, [S. l.], v. 10, n. 18, p. 264–272, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/26487>. Acesso em: 14 abr. 2020.



- LONSDORF, E. V. et al.,. Assessing urban ecosystem services provided by green infrastructure: Golf courses in the Minneapolis-St. Paul metro area. *Landscape and Urban Planning*, v. 208, 2021.
- LOVELL, S. T.; TAYLOR, J. R. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *Landscape Ecology*, v. 28, n. 8, p. 1447–1463, 1 out. 2013.
- MA, Millennium Ecosystem Assessment Board “Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment”, 2005 London: Island Press. Disponível em: <https://www.cifor.org/knowledge/publication/1866/>
- MACEDO, S. S. Espaços Livres. *Paisagem e Ambiente*, [S. l.], n. 7, p. 15-56, 1995. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i7p15-56. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/133811>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- MACEDO, Silvio Soares; QUEIROGA, Eugênio Fernandes; GALENDER, Fany Cutcher; CAMPOS, Ana Cecília de Arruda; CUSTÓDIO, Vanderli; DEGREAS, Helena; GONÇALVES, Fábio Mariz. Os Sistemas de Espaços Livres na constituição da forma urbana contemporânea no Brasil: produção e apropriação (QUAPÁ-SEL II). *Paisagem Ambiente*. São Paulo, n. 30, 2012, p. 137-172. (ensaios). Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/78112>. Acesso em: 20 jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i30p137-172>.
- MAIO, C. R. *Revista Brasileira de Geografia. ANALISE GEOAMBIENTAL NA COMPARTIMENTAÇÃO MORFOLOGICA DO DISTRITO FEDERAL*, v. 1, n. 3, 1987. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg\\_1987\\_v49\\_n3.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1987_v49_n3.pdf). Acessado em: 10 junho de 2021
- MARCONDES, M. J. DE A. *Cidade e natureza: proteção dos mananciais e exclusão social*. São Paulo: Studio Nobel, 1999.
- MARSH, George Perkins. *Man and nature*; [s.l.]: New York, C. Scribner & co., 1867. Disponível em: <http://archive.org/details/manandnatureorp00marsgoog>. Acesso em: 26 out. 2020.
- MARTINS, E.S; BAPTISTA, G.M.M. 1998. *Compartimentação Geomorfológica e Sistemas Morfodinâmicos do Distrito Federal*. In: *Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal*. Brasília: IEMA/ SEMATEC/UnB. Vol.I, p.89-137.
- MASCARÓ, Juan L.; YOSHINAGA, Mário. *Infra-estrutura urbana*. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2013.
- MCDONNELL, M. *The History of Urban Ecology - An Ecologist's Perspective*. *Urban Ecology: Patterns, Processes and Applications*, p. 5–13, 3 fev. 2011.
- MCDONOUGH, K. et al.,. Analysis of publication trends in ecosystem services research. *Ecosystem Services*, v. 25, p. 82–88, 1 jun. 2017.
- MCHARG, I. L. *The Essential Ian McHarg: Writings on Design and Nature*. [s.l.] Island Press, 2006.
- MCHARG, I. L. *To Heal the Earth: Selected Writings of Ian L. McHarg*. [s.l.] Island Press, 2007.
- MCHARG, Ian. *Design with Nature*. New York: Doubleday & Company, 1969.

- MEINE, C. Conservation Movement, Historical. In: LEVIN, S. A. (Ed.). . Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition). Waltham: Academic Press, 2013. p. 278–288.
- MENEGUETTI, Karin Schwabe. De cidade-jardim a cidade sustentável: potencialidades para uma estrutura ecológica urbana em Maringá-PR. 2007. Tese (Doutorado em Paisagem e Ambiente) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/T.16.2007.tde-19052010-105818. Acesso em: 2022-03-03.
- MOTA, Suetônio. Planejamento Urbano e preservação ambiental. Fortaleza, CE: Edições UFC, 2011.
- MOTA, Tainá Ulhoa. Associação entre os métodos SCS-CN e GRADEX para cálculo de vazões. 2016. 132 f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Minas gerais, 2016.
- MUNÕZ, A.; FREITAS, S. Importância dos Serviços Ecossistêmicos nas Cidades: Revisão das Publicações de 2003 a 2015. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS, v. 6, p. 89–104, 1 ago. 2017.
- NAHLIK, A. M. et al.,. Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service concepts into practice. Ecological Economics, v. 77, p. 27–35, 1 maio 2012.
- NDUBISI, F. Ecological Planning: A Historical and Comparative Synthesis. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2002.
- NETTO, M. M. G. A paisagem de Ouro Preto. 2014. 145 f., Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- NOVAES PINTO, M. 1994. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: Novaes pinto, M., org. Cerrado: Caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília, Universidade de Brasília / SEMATEC, p.285-344.
- NUCCI, João Carlos; CAVALHEIRO, Felisberto. Cobertura vegetal em áreas urbanas – conceito e método. Revista GEOUSP. v. 3, n. 2, 2006, p. 29-36. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123361>. Acesso em: 20 jan. 2021. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.1999.123361.
- ODUM, E.P. (1985). Ecologia. Rio de Janeiro: Interamericana.
- OLIVEIRA, Aline da Nóbrega. Cidade e Natureza: Urbanização em Áreas de Recarga de Aquíferos. 2019. 100 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
- PÁDUA, J. A. Romantic heritage and contemporary ecologism: is there an historical link? Varia Historia, v. 21, n. 33, p. 58–75, 2005.
- PANERAI, Philippe. Análise Urbana. Brasília: UNB, 2014. 198 p. v. 1. ISBN: 9788523009236.
- PANZINI, F. Projetar a natureza: Arquitetura paisagística dá origem a época contemporânea. 1ª edição ed. Senac São Paulo, 2013.

- PATAKI, D. et al., Coupling biogeochemical cycles in urban environments: Ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 9, p. 27–36, 1 dez. 2010.
- POSTEL, Sandra; CARPENTER, Stephen. *Freshwater Ecosystem Services*. In: DAILY, GRETCHEN C. (Org.). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, D.C.: Island Press, 1997
- POSTEL, S. L.; THOMPSON JR., B. H. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*, v. 29, n. 2, p. 98–108, 2005.
- QUEIROGA, E. F. Da relevância pública dos espaços livres um estudo sobre metrópoles e capitais brasileiras. *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros*, p. 105–132, jun. 2014.
- RIBEIRO, Edson Leite. *Sistemas de Áreas Livres e Verdes Urbanas em João Pessoa – PB*. João Pessoa: Secretaria de Planejamento. Diretoria de Geoprocessos e Cadastro Urbano – DIGEO, 2008.
- RUBIRA, Felipe Gomes. Definição e diferenciação dos conceitos de áreas verdes/espaços livres e degradação ambiental/impacto ambiental. *Caderno de Geografia*, v.26, n.45,2016. P.1-17. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/P.2318-2962.2016v26n45p134/8740>. Acesso em: 23/05/2020
- SANCHES, P. M. Cidades compactas e mais verdes: conciliando densidade urbana e vegetação por meio do desenho urbano. *Doutorado em Recursos Florestais—Piracicaba: Universidade de São Paulo*, 6 maio 2020.
- SANCHOTENE, M. C. C. *Conceitos e Composição do Índice de Áreas Verdes – SBAU – Boletim Informativo — Ano XII – Nº 01– 1º semestre/2004*. São Paulo/SP.
- SANT' ANNA, Camila Gomes. *A infraestrutura verde e sua contribuição para o desenho da paisagem da cidade*. 2020. 303 f., il. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2020.
- SANTOS, R. F. *Planejamento ambiental: teoria e prática*. São Paulo: Oficina de Textos. 2004. 184p.
- SANTOS, Ronaldo Medeiros dos. *Recarga de águas subterrâneas em ambiente de cerrado : estudo com base em modelagem numérica e simulação hidrológica em uma bacia experimental*. 2012. xxv, 195 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- SARTORI, A. *Avaliação da classificação hidrológica do solo para determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos*. 2004. 159p. Universidade de Campinas, Campinas – SP, dissertação de Mestrado, 159p.
- SARTORI, A. *Desenvolvimento de critérios para classificação hidrológica de solos e determinação de valores de referência para o parâmetro CN*. 2010. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 4, p. 5-18, 2005.
- SCHLEE, M.B.; NUNES, M. J.; REGO, A. Q.; RHEINGANTZ, P. A.; DIAS, M. A.; TÂNGARI, V. R. Sistema de Espaços Livres nas Cidades Brasileiras – um debate conceitual. In Revista Paisagem e Ambiente – Ensaios, n. 26, São Paulo: FAUUSP, 2009, p. 225-247. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/77358/81206>. Acesso em: 2 jun. 2021.
- SERAPHIM, Ana Paula Albuquerque Campos Costalonga. Relações entre as áreas de recarga dos aquíferos e áreas destinadas a urbanização: estudo dos padrões de ocupação do solo da unidade hidrográfica do Paranoá - DF. 2018. 193 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- SILVA, Joyce Reis Ferreira da. Zoneamento e forma urbana: ausências e demandas na regulação do uso e ocupação do solo. 2014. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/D.16.2014.tde-30062014-114611. Acesso em: 2021-04-14.
- SOUZA, Daniele Tubino Pante de. Corredores verdes: uma abordagem para o seu planejamento em municípios brasileiros de pequeno porte. 2012. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-RS, 2012.
- STEINER, Claudia. Subsídios para o planejamento de Sistemas de Áreas Verdes Urbanas no Brasil. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2016.
- TEEB. A economia dos ecossistemas e da biodiversidade: integrando a economia da natureza. Uma síntese da abordagem, conclusões e recomendações do TEEB. 2010. 49 p. Disponível em: <http://doc.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/> Acesso em: 5 janeiro 2021.
- TRATALOS, J. et al.,. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. Landscape and Urban Planning, v. 83, p. 308–317, 1 dez. 2007.
- TUCCI, Carlos E. M. Águas Urbanas. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200007&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200007&lng=pt&tlng=pt).
- VALLEJO, L. R. Unidade de Conservação: Uma Discussão Teórica á Luz dos Conceitos de Território e Políticas Públicas. GEOgraphia, v. 4, n. 8, p. 57–78, 2002.
- VIGLIO, J. E.; FERREIRA, L. DA C. O conceito de ecossistema, a idéia de equilíbrio e os movimentos ambientalistas. Caderno eletrônico de Ciências Sociais. v. 1, n. 1, p. 17, 2013.
- WALDHEIM, C., Landscape as urbanism: a general theory, Princeton, New Jersey: Princeton University Press. (2016)

- WHITFORD, V.; ENNOS, R.; HANDLEY, J. F. "City form and natural process" - Indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, v. 57, p. 91–103, 20 nov. 2001.
- XAVIER, T. M. B. S.; PEREIRA FILHO, A. J.; XAVIER, DIAS, A. F. S.; P. L. S.; *Mudanças Climáticas Nas Cidades e Interferências com o Aquecimento Global*, Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, (5), p. 61 a 68 , ago.-dez. 2008
- XIA, J.; Zhang, Y.Y.; Xiong, L.H.; He, S.; Wang, L.F.; Yu, Z.B. Opportunities and challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China. *Sci. China Earth Sci.* 2017, 60, 652–658.
- XIMENES, D. S. S. A evolução da sustentabilidade ambiental urbana e as interferências da ética. *Revista LABVERDE*, n. 2, p. 62–80, 20 jun. 2011.
- YANG, B.; LI, M.-H.; HUANG, C.-S. Ian McHarg's Ecological Planning in The Woodlands, Texas: Lessons Learned after Four Decades. *Landscape Research*, v. 40, 12 mar. 2015.
- ZHANG, X. et al., Bibliometric analysis of highly cited articles on ecosystem services. *PLOS ONE*, v. 14, n. 2, p. e0210707, 11 fev. 2019.
- ZULIAN, Grazia; PARACCHINI, Maria-Luisa; MAES, Joachim; et al. ESTIMAP: Ecosystem services mapping at European scale. JRC Publications Repository, 2014. Disponível em: <<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/30410>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

## APÊNDICE

```

# -*- coding: utf-8 -*-
##
##-- Finalidade: Monitoramento provisão de Serviços ecossistêmicos
##-- Análise metodológica: Aline da Nóbrega Oliveira - Urbanista
##-- Créditos programação: Msc.Bruno Rodrigues de Oliveira – Geólogo
##-- https://orcid.org/0000-0001-6757-0559
##-- Descrição: Cálculo dos serviços ecossistêmicos hídricos de uma
##subbacia com base na metodologia de Lima et.al (2017)

## Importando módulos
import arcpy
import sys
import os
from arcpy.sa import *
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
#####
##Definindo o ambiente
#####
print('Definindo ambiente...')
pasta_default = r'D:\Users\4.gdb'
arcpy.env.workspace = pasta_default
arcpy.env.scratchWorkspace = pasta_default
arcpy.env.overwriteOutput = True

#####
# Definindo dados de entrada
#####
print('Definindo dados de entrada...')
#####
# Pedologia Vetor
#####
vetor_pedologia = r"D:\Users.gdb\PEDOL_SUBBACIA"
#####
# Uso e cobertura - Vetor
#####
vetor_uso_cobertura = r"D:\Users.gdb\USODOSOLO_SE"

#####
# Declividade - Raster
#####
raster_declividade = r"D:\Users.gdb\RASTER_DECLIVIDADE"
#####
# Distância - Raster
#####
raster_distancia = r"D:\Users.gdb\RASTER_DISTANCIA"

```

```

# Gerar os rasters
#####
fields = ["CONTROLE_RUNOFF", "ABAST_AGUA", "MAN_QUAL_AGUA",
          "MAN_QUAL_SOLO", "CONTROLE_EROSAO"]
print('Convertendo os vetores para rasters...')
# Converte os vetores para rasters
for field in fields:
    raster_name = field + "_vetor_uso_cobertura"
    out_rasterdataset_vetor_uso_cobertura = os.path.join(pasta_default,
                                                         raster_name)
    arcpy.conversion.PolygonToRaster(vetor_uso_cobertura, field,
                                     out_rasterdataset_vetor_uso_cobertura)

    raster_name = field + "_vetor_pedologia"
    out_rasterdataset_vetor_pedologia = os.path.join(pasta_default, raster_name)
    arcpy.conversion.PolygonToRaster(vetor_pedologia, field,
                                     out_rasterdataset_vetor_pedologia)

#####
# Converte a declividade para valores corretos
#####
print('Convertendo a declividade para valores corretos...')
for field in fields:
    raster_name = field + "_declividade"
    out_rasterdataset = os.path.join(pasta_default, raster_name)
    if field == "CONTROLE_RUNOFF":
        outReclass = arcpy.sa.Reclassify(raster_declividade, "Value",
                                         RemapRange([[0,5,90],[5,10,80],[10,15,60],[15,20,60],[20,25,50],[25,30,50],[30,9
999,50]]))
        outReclass.save(out_rasterdataset)
    elif field == "ABAST_AGUA":
        outReclass = arcpy.sa.Reclassify(raster_declividade, "Value",
                                         RemapRange([[0,5,90],[5,10,80],[10,15,60],[15,20,60],[20,25,50],[25,30,50],[30,9
999,50]]))
        outReclass.save(out_rasterdataset)
    elif field == "MAN_QUAL_AGUA":
        outReclass = arcpy.sa.Reclassify(raster_declividade, "Value",
                                         RemapRange([[0,5,95],[5,10,90],[10,15,80],[15,20,80],[20,25,60],[25,30,60],[30,9
999,60]]))
        outReclass.save(out_rasterdataset)
    elif field == "MAN_QUAL_SOLO":
        outReclass = arcpy.sa.Reclassify(raster_declividade, "Value",
                                         RemapRange([[0,5,100],[5,10,95],[10,15,90],[15,20,90],[20,25,85],[25,30,85],[30,9
999,85]]))
        outReclass.save(out_rasterdataset)
    elif field == "CONTROLE_EROSAO":
        outReclass = arcpy.sa.Reclassify(raster_declividade, "Value",

```

```

RemapRange([[0,5,95],[5,10,90],[10,15,80],[15,20,80],[20,25,80],[25,30,60],[30,9
999,60]]))
outReclass.save(out_rasterdataset)
#####
# Gerar os raster finais
#####
print('Gerando os rasters finais...')
for field in fields:
    raster_name_uso_cobertura = field + "_vetor_uso_cobertura"
    out_rasterdataset_vetor_uso_cobertura = os.path.join(pasta_default,
raster_name_uso_cobertura)

    raster_name_pedologia = field + "_vetor_pedologia"
    out_rasterdataset_vetor_pedologia = os.path.join(pasta_default,
raster_name_pedologia)

    raster_name_declividade = field + "_declividade"
    out_rasterdataset = os.path.join(pasta_default, raster_name_declividade)
    if field == "MAN_QUAL_AGUA":
        #output_raster = pasta_default + "/" + out_name
        output_raster_path = os.path.join(pasta_default, field)
        input_raster_path_uso =
Raster(os.path.join(pasta_default,raster_name_uso_cobertura)) =
input_raster_path_pedologia =
Raster(os.path.join(pasta_default,out_rasterdataset_vetor_pedologia)) =
input_raster_path_declividade = Raster(os.path.join(pasta_default,
raster_name_declividade))
input_raster_path_distancia =
Raster(os.path.join(pasta_default,raster_distancia))
raster_calculator_enter = Float(input_raster_path_uso) *
Float(input_raster_path_pedologia) *
(Float(input_raster_path_declividade)/100.0)
Float(input_raster_path_distancia)
raster_calculator_enter.save(output_raster_path)
    else:
        #output_raster = pasta_default + "/" + out_name
        output_raster_path = os.path.join(pasta_default, field)
        input_raster_path_uso =
Raster(os.path.join(pasta_default,raster_name_uso_cobertura)) =
input_raster_path_pedologia =
Raster(os.path.join(pasta_default,out_rasterdataset_vetor_pedologia)) =
input_raster_path_declividade = Raster(os.path.join(pasta_default,
raster_name_declividade))
raster_calculator_enter = Float(input_raster_path_uso) *
Float(input_raster_path_pedologia) *
(Float(input_raster_path_declividade)/100.0)
raster_calculator_enter.save(output_raster_path)
#####
# Apagando os rasters temporários
#####
print('Apagando os rasters temporarios...')

```



for field in fields:

```
raster_name_uso_cobertura = field + "_vetor_uso_cobertura"  
out_rasterdataset_vetor_uso_cobertura = os.path.join(pasta_default,  
raster_name_uso_cobertura)  
arcpy.Delete_management(out_rasterdataset_vetor_uso_cobertura, "")  
raster_name_pedologia = field + "_vetor_pedologia"  
out_rasterdataset_vetor_pedologia = os.path.join(pasta_default,  
raster_name_pedologia)  
arcpy.Delete_management(out_rasterdataset_vetor_pedologia, "")  
raster_name_declividade = field + "_declividade"  
out_rasterdataset = os.path.join(pasta_default, raster_name_declividade)  
arcpy.Delete_management(raster_name_declividade, "")
```

print('YOU WIN!')

# Inserir caminho do código D: XXXXXXXX

#C:\Python27\ArcGISx6410.7\python.exe D:\Users\entrada.py

