

## IMPLEMENTAÇÃO DE NOVAS ÁREAS URBANAS PARA O DISTRITO FEDERAL: UMA PERSPECTIVA DE EXPANSÃO SUSTENTÁVEL

**Mariana Santos da Silva**

Universidade de Brasília, Instituto de Geociências,  
Pós-Graduação LatuSensu em Geoprocessamento Ambiental, Brasília, DF, Brasil  
[mariana.semadf@gmail.com](mailto:mariana.semadf@gmail.com)

**Kássia Batista de Castro**

Gerência de Estudos Ambientais, Companhia de Planejamento do Distrito Federal, Brasília, DF, Brasil  
[kassiabcastro@gmail.com](mailto:kassiabcastro@gmail.com)

**Rejane Ennes Cicerelli**

Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, DF, Brasil  
[rejaneig@unb.br](mailto:rejaneig@unb.br)

**Tati de Almeida**

Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, DF, Brasil  
[tati\\_almeida@unb.br](mailto:tati_almeida@unb.br)

### RESUMO

O rápido crescimento da população urbana, no Brasil, trouxe impactos significativos, gerando complexos problemas sociais e ambientais. Assim, o presente trabalho tem por objetivo propor novas áreas urbanas, no Distrito Federal, que tenham potencial sustentável, ou seja, espaços que possam ser apropriados de forma a garantir mínimos impactos ao sistema ambiental de forma a não comprometer a oferta de serviços ecossistêmicos vitais. Como método, foram utilizadas técnicas de análise multicritério e Análise Hierárquica Ponderada, combinadas a ferramentas de geoprocessamento. Um mapa de restrição foi aplicado às áreas destinadas à preservação ambiental e, além disso, algumas áreas, estabelecidas por instrumentos legais, foram analisadas. Os espaços com potencial urbano foram bem distribuídos em todo o território do DF, especialmente, a leste do mapa. Ao mesmo tempo foi possível identificar áreas com maior necessidade de preservação quanto à manutenção ecológica, como a região noroeste do DF. A designação de espaços urbanos, através do método apresentado, é importante para garantir um menor impacto ambiental, visto que a escolha dos critérios, a sua classificação e a sua ponderação foram trazidas como parte integrante de suporte aos sistemas ecológicos fundamentais, o que visa assegurar o funcionamento sustentável do território.

**Palavras-chave:** Planejamento territorial. Crescimento urbano sustentável. Modelagem espacial. Análise Hierárquica Ponderada. Distrito Federal.

### IMPLEMENTATION OF NEW URBAN AREAS FOR THE FEDERAL DISTRICT: A PERSPECTIVE OF SUSTAINABLE EXPANSION

### ABSTRACT

The rapid growth of the urban population in Brazil has brought significant impacts, generating complex social and environmental problems. Thus, the present work aims to propose new urban areas, in the Federal District, that have sustainable potential, that is, spaces that can be appropriated in order to ensure minimal impacts to the environmental system so as not to compromise the offer of vital ecosystem services. As a method, multicriteria analysis techniques and Weighted Hierarchical Analysis were used, combined with geoprocessing tools. A restriction map was applied to areas intended for environmental preservation and, in addition, some areas, established by legal instruments, were analyzed. Spaces with urban potential were well distributed throughout the DF, especially, to the east of the map. At the same time, it was possible to identify areas with greater need for preservation in terms of ecological maintenance, such as the northwestern region of DF. The designation of urban spaces, using the method presented, is an important process to ensure a low environmental

impact, since the choice of criteria, their classification, and their weighting were brought as an integral part to the fundamental ecological systems, which aims to ensure the sustainable functioning of the territory.

**Keywords:** Territorial planning. Sustainable urban growth. Spatial modeling. Analytical hierarchy process. Distrito Federal.

## INTRODUÇÃO

Ainda que algumas cidades brasileiras tenham sido inicialmente planejadas, o rápido crescimento da população urbana trouxe impactos significativos em função da falta de controle e tempo de resposta para manter ou adaptar a estrutura urbanística arquitetada (FERREIRA et al., 2016). A periferização, desemprego, subemprego e degradação ambiental são alguns dos exemplos desse crescimento desordenado combinado à negligência do Estado com intervenções mais estratégicas de prevenção de impactos ou requalificação urbana, que trazem ações que propõem qualidade ambiental a alguns setores urbanos (COSTA, 2012; ZEE-DF, 2017).

No âmbito do planejamento territorial, um dos principais desafios para a gestão pública é saber conciliar os interesses entre as atividades economicamente produtivas e as atividades de proteção e conservação dos recursos naturais (HERATH e PRATO, 2006). Para garantir a execução de uma política urbana pautada no interesse social e equilíbrio ambiental é importante observar um conjunto de variáveis que darão suporte à tomada de decisão, por exemplo, as limitações ambientais, os usos diferentes da terra, as políticas e planos de ordenamento territorial e habitacional, os serviços ecossistêmicos, e, além disso, entender como funcionam essas interações no espaço geográfico (MOSADEGHI et al., 2015).

Para auxiliar a interpretação espacial dessas interações têm sido utilizadas tecnologias advindas dos sistemas de informações geográficas, por meio de variáveis qualitativas e quantitativas, no qual, podem-se aplicar técnicas de análise espacial alinhadas à decisão por multicritério, que são apropriadas para abordar situações complexas que apresentam interesses conflitantes (MOURA, 2003; SILVA et al., 2015; ZYUOD e FUCHS-HANUSCH, 2017; WANG et al., 2009). São soluções que dão poder de gerenciamento ao governo (em todas as esferas), ao setor privado, ao monitoramento ambiental, ao agrícola e ao urbano proporcionando possibilidades estratégicas de decisão (RAJU e KUMAR, 2010).

Algumas pesquisas aplicadas demonstram a utilização dessas ferramentas aonde se buscaram entender, a título de exemplo, as ocupações irregulares quanto à geração de riscos ambientais em Catolê do Rocha-PB (MENEZES JÚNIOR et al., 2016); o mapeamento das áreas vulneráveis a processos erosivos a partir das condições ambientais no município de Martinópolis-SP (RODRIGUES et al., 2018); a quantificação e exploração das prioridades regionais para o gerenciamento do capital natural e serviços ecossistêmicos no sul da bacia australiana de Murray-Darling (BRYAN et al., 2009); a análise dos riscos relevantes para a adoção e implementação efetiva das práticas para o gerenciamento da cadeia de suprimentos verde do ponto de vista industrial (MANGLA et al., 2015).

Diante desse contexto, assim como as cidades brasileiras, o Distrito Federal (DF), deve incorporar medidas sustentáveis de desenvolvimento urbano de modo a minimizar os impactos negativos que o seu crescimento traz ao meio ambiente. Em uma das diretrizes gerais do Artigo 2º da Lei 10.257/2001, Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), é citado que o planejamento do desenvolvimento das cidades deve ser feito de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano, a poluição e outros efeitos negativos sobre o meio ambiente, garantindo a ordenação e controle do uso do solo.

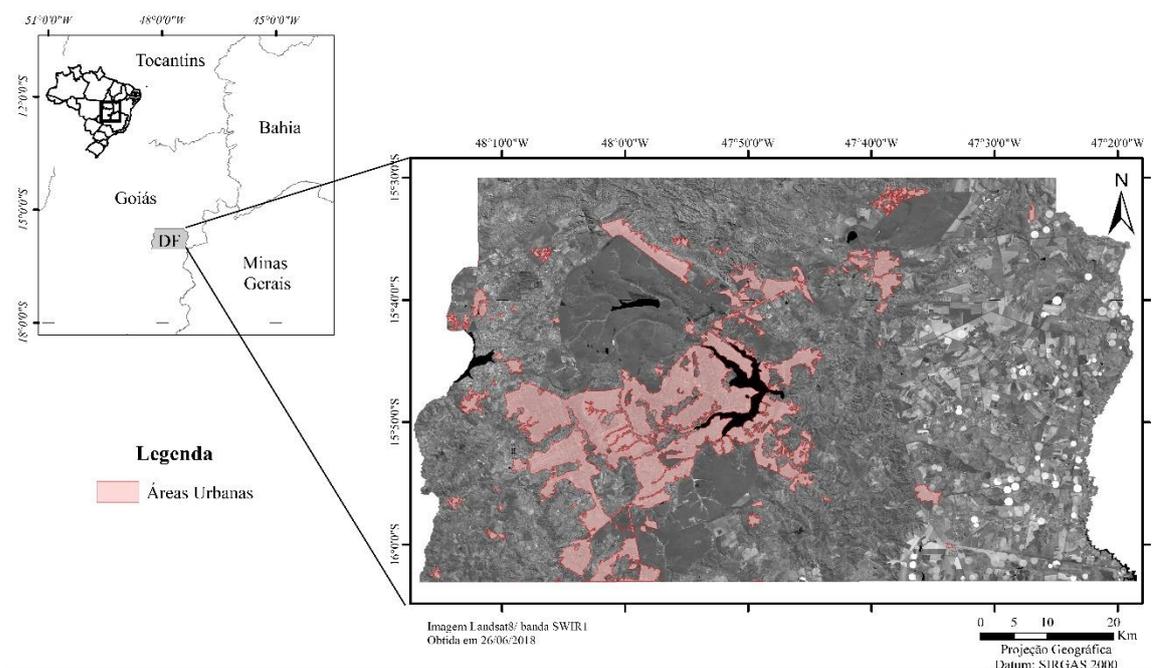
Considerando o método de Análise Hierárquica Ponderada combinada às ferramentas de geoprocessamento para modelagem espacial aplicadas ao planejamento urbano, é possível viabilizar um estudo considerando os elementos físicos naturais da paisagem e a infraestrutura urbana já estabelecida (MYAGMARTSEREN et al., 2017; PARK et al., 2011; CERRETA e DE TORO, 2012). A fim de reduzir os impactos negativos ao sistema ecológico e fortalecer as estratégias de governo com menor custo ambiental e financeiro, é fundamental a priorização de um meio ambiente equilibrado para as presentes e futuras gerações, de forma a não comprometer as ofertas de serviços ecossistêmicos vitais e a perda de qualidade de vida frente ao adensamento ou expansão de novos núcleos urbanos.

Sendo assim, o presente trabalho tem por finalidade propor novas áreas urbanas que tenham potencial sustentável, ou seja, espaços que possam ser apropriados de forma a garantir mínimos impactos ao sistema ambiental e a qualidade de vida da população. Para tanto, foi necessário elaborar (i) um indicador de áreas urbanizáveis, adotando critérios de ponderação para a relevância dos fatores envolvidos, que foi construído com apoio de gestores públicos e (ii) relacionar os resultados com alguns instrumentos legais vigentes, analisando as estratégias de governo para uso e ocupação do solo frente aos elementos físico-ambientais e infraestrutura urbana prévia.

## ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal (Figura 1) ocupa uma área de 5.789,16 km<sup>2</sup> (CODEPLAN, 2018) e é totalmente abrangido pelo bioma Cerrado, segundo maior bioma da América Latina (SANO et al., 2019), que apresenta grande biodiversidade e espécies endêmicas com alto grau de ameaça (RATTER et al., 1997). O Cerrado, também conhecido como Berço das Águas, desempenha papel fundamental na captação e distribuição das águas de oito das doze regiões hidrográficas brasileiras (LIMA, 2011) e abriga “nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul: Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata” (MMA, 2020; ZEE-DF, 2017).

Figura 1 - Localização do Distrito Federal, 2020.



Fonte - Geoportal (IDE/DF). Própria autoria.

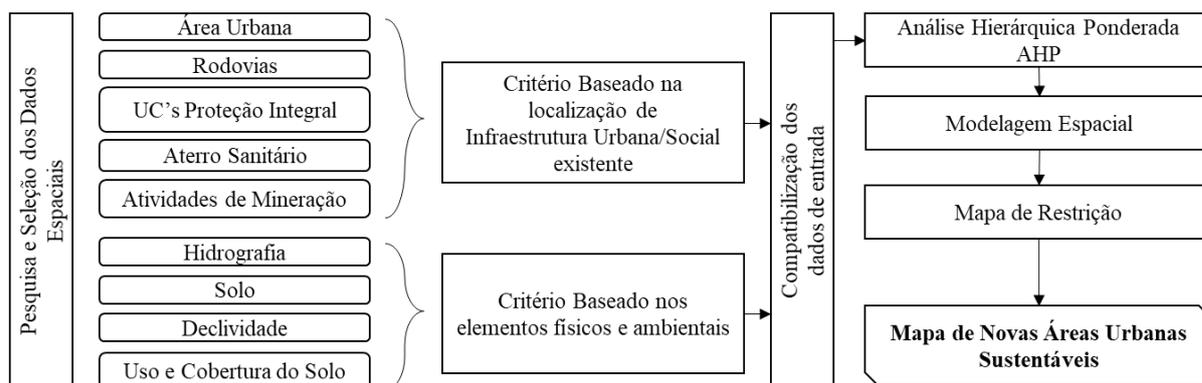
Com estimativa populacional de 3.055.149 de habitantes em 2020, o DF teve 19% de crescimento populacional quando comparado ao ano de 2010 (IBGE, 2020) e, segundo projeções do IBGE, em 2060, o DF atingirá o quantitativo de 3,7 milhões de habitantes (IBGE, 2018). O Projeto MapBiomas (2019), responsável por gerar mapas anuais de uso e cobertura do solo brasileiro, mapeou a evolução da infraestrutura urbana no Distrito Federal nos últimos 35 anos e revelou que neste período houve um crescimento de 162% para esta classe (1985-2018). Dados como estes apontam a necessidade de garantir formas mais eficientes de uso e ocupação da terra, uma vez que recursos importantes como a disponibilidade hídrica podem ser afetados devido ao mau planejamento da gestão pública.

Cabe ressaltar a ocupação irregular de terras públicas no DF pela grilagem. A falta ou ineficiente planejamento e monitoramento territoriais agravam a problemática, trazendo riscos ambientais, muitas vezes irreversíveis, causados por uma dinâmica de construção autônoma sem estratégia de manejo sustentável ou, muito menos, prevendo serviços básicos como coleta de lixo ou entulho. Além disso, o prejuízo ao Estado é significativo, levando a ocupação de áreas que foram dispostas a outros propósitos a uma possível regularização fundiária, o que foge do plano orçamentário de obras e implementação de serviços públicos básicos e gera um grande esforço nos órgãos responsáveis para todo o processo de regularização, inclusive, nos tribunais, com acúmulo de processos sobre a reivindicação de terrenos (PAVIANI, 2009).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi executada em etapas: definição do tema, catalogação dos dados disponíveis, definição dos critérios utilizados, organização dos dados em banco de dados, elaboração do questionário da Análise Hierárquica Ponderada (AHP), escolha dos especialistas para responder a AHP, geração do mapa de restrição e aplicação da modelagem espacial. O processo pode ser interpretado através do fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma de estudo.



Fonte - Própria autoria.

### ANÁLISE HIERÁRQUICA PONDERADA – AHP

A AHP é um método baseado em psicologia e matemática utilizado para apoiar decisões complexas que, normalmente, apresentam interesses conflitantes ou algum nível de incerteza (SAATY, 1980; ANANDA e HERATH, 2008). É um recurso que permite avaliar casos reais utilizando múltiplos critérios, no qual, especialistas de diferentes áreas, podem apresentar alternativas relacionadas a um objetivo comum apontando, através de comparação, preferência para as variáveis que compõem um problema real (ZYOUD e FUCHS-HANUSCH, 2017).

Com esse conceito, o método é utilizado estrategicamente em diversas áreas do conhecimento, tais como matemática, sistemas de informação, economia, engenharia de software, gestão pública e manejo florestal (BEHZADIAN et al., 2012) agregando indicadores de desempenho separadamente para compor um indicador integrado.

Para aplicar a AHP é necessária a formulação de um esquema de decisão hierárquico que constituem: (i) o objetivo a ser alcançado, (ii) os critérios de decisão ou indicadores de desempenho e as (iii) possíveis alternativas para decompor o problema de decisão. A partir desse esquema é possível atribuir níveis de importância às alternativas propostas. Tal atribuição é feita por meio de comparação aos pares, na qual dois atributos são ponderados em uma escala de 1 a 9, em que 1 representa mesmo nível de importância e 9 indica importância máxima de um critério pelo outro (SAATY, 1980).

A partir dessa ponderação pareada, é calculada a consistência dos julgamentos, retornado através da Razão de Consistência (CR). Como regra geral, para que o CR seja considerado aceitável, é importante que ele esteja igual ou inferior a 0,1 (SAATY, 1980). A elaboração do esquema e a atribuição das ponderações foram realizados com apoio do sistema AHP-OS (GOEPEL, 2018).

### ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DA AHP

#### **Modelo de decisão hierárquico**

A seleção dos atores responsáveis pela ponderação do modelo é uma etapa que necessita cuidado. É preciso considerar um número mínimo de participantes de diferentes áreas do conhecimento, uma vez que os resultados podem ser altamente tendenciosos, quando este fator não é observado. Foram escolhidos oito especialistas para ponderar o modelo, entre eles: assessores técnicos, analistas, coordenadores e gerentes, todos servidores do Governo do Distrito Federal.

O processo de ponderação deve estar aberto e transparente para que todos tenham clareza do que está sendo discutido e implementado (BUCHY e HOVERMAN, 2000). Desta forma, foram preparados três materiais audiovisuais ilustrando (i) a proposta do trabalho, a sua relevância social/instrumento de planejamento urbano; (ii) a importância dos critérios utilizados, qual o significado deles para a identificação de novas áreas urbanas com ênfase no potencial sustentável, explicação da classificação dos atributos e as peculiaridades de cada um, e por fim, (iii) o funcionamento do método da AHP e a forma de preenchimento do questionário para a avaliação pareada.

#### **Identificação dos atributos utilizados no modelo de decisão hierárquico**

O modelo de decisão hierárquico aponta quais critérios e atributos são relevantes ao considerar novas áreas que possuem capacidade de suporte para a instalação de infraestrutura urbana. Sendo assim, optou-se pela utilização, no primeiro nível, de dois critérios essenciais (Tabela 1), cada um com um subnível de atributos: (1) os elementos físico-ambientais, pensado como estruturante para a manutenção da infraestrutura ecológica presente, como o ciclo hidrológico e a manutenção da biodiversidade; e (2) a

infraestrutura urbana e social instalada, visando a acessibilidade aos serviços públicos (transporte, saúde e educação), as redes de drenagem pluvial, ao abastecimento de água e tratamento de esgoto, ou seja, facilitando o fluxo de pessoas e gerando um impacto ambiental menor ao aproveitar esses recursos urbanos. Estes critérios foram utilizados em outras pesquisas semelhantes (MYAGMARTSEREN et al., 2017; PARK et al., 2011; CERRETA e DE TORO, 2012; WELLS e KING, 1989).

Tabela 1 - Critérios e atributos utilizados, 2020.

Nome	Tipo do Dado	Resolução Espacial	Data	Fonte
<b>Elementos físico-ambientais</b>				
Declividade	Matricial	30m	11/02/2000	SRTM/USGS
Solo	Matricial	30m	2006 adapt. de 1978	Embrapa
Distância do rio	Linha p/ Matricial	30m	2017	ANA
Uso e Cobertura do Solo	Matricial	30m	2019	Codeplan, 2019
<b>Infraestrutura Urbana/Social</b>				
Distância de UC's de Proteção Integral	Matricial	30m	2020	Geoportal (IDE/DF)
Distância de área urbana	Matricial	30m	2019	Codeplan
Distância de aterro sanitário	Matricial	30m	2020	Geoportal (IDE/DF)
Distância de atividades de mineração (calcário)	Matricial	30m	2020	IBGE; SIGMINE
Distância das rodovias	Linha p/ Matricial	30m	2020	Geoportal (IDE/DF)

#### **Elementos físico-ambientais**

##### **Declividade**

A declividade foi gerada a partir das imagens SRTM com resolução espacial de 30 metros. É um dos critérios mais observados antes de identificar a potencialidade local para a maioria dos empreendimentos urbanos. A sua classificação (Tabela 2) foi estabelecida de acordo com a discriminação do relevo, onde 0 a 3% de declividade corresponde a relevo plano, 3 a 8% a relevo suavemente ondulado, 8 a 20% a relevo ondulado e 20 a 45% a relevo fortemente ondulado (EMBRAPA, 1978).

##### **Solo**

O mapa de solos utilizado foi uma base da Embrapa (1978) com adaptação das nomenclaturas das classes conforme Embrapa (2006), em uma escala de 1:100.000. A sua classificação, nesta pesquisa, teve como referência a inversão dos níveis de sensibilidade em função da condutividade hidráulica, por meio da vazão média de cada solo, no domínio poroso, que inclui a transição entre a zona saturada e a zona não saturada (ZEE-DF, 2017). Assim, quanto maior a vazão de condutividade hidráulica no solo, menor será a aptidão para a instalação de infraestrutura urbana, por exemplo, os Neossolos Quartzarênicos possuem alta condutividade hidráulica, por essa razão, entende-se que a sua aptidão é muito baixa (Tabela 2), além disso este solo pode apresentar altas quantidade de argila, o que os tornam muito plásticos, representando alto risco para edificações devido à sua instabilidade (ZEE-DF, 2017).

##### **Distância do rio**

A base hidrográfica utilizada faz parte de uma consolidação em bases multiescalares da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), que buscou gerar trechos de drenagem e outras informações hidrologicamente consistentes.

O critério representa grande fator de contribuição para o ciclo hidrológico, elemento da estrutura ecológica fundamental para a sustentação da vida na Terra (FERREIRA, 2010). O escoamento pluvial em ambientes urbanos, a depender dos níveis de impermeabilização do solo e de gestão das coletas de esgoto e lixo, podem gerar graves problemas de poluição (TUCCI, 2005; COSTA e KOIDE, 2013). Sendo assim, adotou-se que quanto maior a distância do trecho de drenagem, maior será o potencial para consolidação de novas áreas urbanas.

#### *Uso e cobertura do solo*

O mapa de uso e cobertura do solo foi disponibilizado pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan), gerado a partir da classificação supervisionada, com base no algoritmo *Spectral Angle Mapper*, em imagens Landsat 8 (OLI) obtidas entre os meses de abril a setembro de 2019. Os polígonos foram submetidos a correção manual, a fim de minimizar os erros obtidos através do classificador (CODEPLAN, 2019).

As classes de vegetação natural (formações campestres, savânicas e florestais) foram classificadas com o mesmo valor, embora apresentem características muito distintas, elas exercem papel fundamental para a prestação de importantes serviços ecossistêmicos, qualquer alteração constitui uma grave ameaça à garantia da manutenção de espécies animais e vegetais, além de causar danos à hidrologia e aos estoques e fluxos de carbono (FRANKHAM et al., 2012; KLINK e MACHADO, 2005).

#### **Infraestrutura Urbana/Social:**

##### Distância de área urbana

O aproveitamento de outras estruturas urbanas existentes faz parte de um esforço para garantir a acessibilidade a outros bens e serviços necessários, além da infraestrutura de rede sanitária instalada. A classificação buscou garantir uma baixa valorização em distâncias menores que 500 metros, isto porque o espaço pode prever outros tipos de usos também essenciais, como áreas verdes, configurando um espaço natural para infiltração das águas pluviais.

As poligonais utilizadas foram extraídas do mapa de uso e cobertura do solo (CODEPLAN, 2019).

#### **Distância de unidades de conservação (UC) de proteção integral**

As UC's de proteção integral são espaços com alta relevância ecológica. Sendo assim, este critério foi adotado como relação de afastamento (diferente das áreas urbanas que estabeleceram uma relação de proximidade), estabelecendo uma zona de amortecimento limitando possíveis atividades antrópicas que poderiam causar risco ao ecossistema natural dentro das áreas protegidas (VITALLI et al., 2009).

##### Distância de aterro sanitário

O critério de distanciamento de aterros foi apontado como fator de valorização da qualidade de vida local, considerando o alto impacto de agentes poluidores locais no solo, na água e no ar. Os dois aterros do Distrito Federal foram considerados, embora apenas um deles esteja em pleno funcionamento, o Aterro de Samambaia. O Aterro Controlado do Jóquei não possui nenhum tipo de impermeabilização no terreno, com um passivo ambiental de 40 anos (CAVALCANTI et al., 2014), e ainda hoje, algumas atividades são realizadas no local, tais como coleta recebimento de entulhos, mesmo com a sua desativação no ano de 2018.

##### Distância de rodovias

Assim como a proximidade de áreas urbanas, a proximidade de rodovias é um fator importante ao se considerar novas áreas urbanas. A acessibilidade com o trânsito de materiais e pessoas deve ser pensado. É um fator que facilitaria a integração posterior de outros tipos de mobilidade, inclusive, o aproveitamento da rede de transporte já em operacionalização e da rede de coleta de lixo, facilitando a adaptação de rotas.

##### Distância de atividades relacionadas à mineração

As atividades mineradoras, trabalhadas aqui, estão predominantemente associadas à exploração de calcário. Alguns resíduos em suspensão podem provocar problemas respiratórios. Outros compostos químicos podem se dissipar na água e no solo, prejudicando a qualidade de água e da composição química da terra, gerando problemas quanto a utilização para plantio ou outro tipo de restrição.

Tabela 2 - Classificação dos atributos, 2020.

<b>Critério</b>	<b>Atributo</b>	<b>Aptidão</b>	<b>Critério</b>	<b>Atributo</b>	<b>Aptidão</b>
<b>Infraestrutura Urbana/ Social</b>					
<b>Elementos físico-ambientais</b>					
<i>Declividade</i>	0 - 3	Muito Alta - 5	<i>Distância de área urbana</i>	0 - 500	Muito Alta - 5
	3 - 8	Alta - 4		500 - 1000	Alta - 4
	8 - 20	Média - 3		1000 - 3000	Média - 3
	20 - 30	Baixa - 2		3000 - 5000	Baixa - 2
	> 30	Restrito - 0		> 5000	Muito Baixa - 1
<i>Solo*</i>	Cambissolos	Muito Alta - 5	<i>Distância das rodovias</i>	0 - 100	Muito Baixa - 1
	Plintossolos e Espodossolos Nitossolos, Chernossolos e Argissolos	Alta - 4		100 - 1000	Muito Alta - 5
	Latossolos Vermelho e Vermelho Amarelo	Média - 3		1000 - 3000	Alta - 4
	Neossolosquartzarênicos, NeossoloFlúvicos e Gleissolos	Baixa - 2		3000 - 5000	Média - 3
		Muito Baixa - 1		> 5000	Baixa - 2
<i>Distância do rio</i>	> 3000	Muito Alta - 5	<i>Distância de UC's de P.I.</i>	> 8000	Muito Alta - 5
	2000 - 3000	Alta - 4		5000 - 8000	Alta - 4
	1000 - 2000	Média - 3		3000 - 5000	Média - 3
	500 - 1000	Baixa - 2		1000 - 3000	Baixa - 2
	30 - 500	Muito Baixa - 1		0 - 1000	Muito Baixa - 1
<i>Uso e Cobertura</i>	Área urbana/mineração/água Solo Exposto	Restrito - 0	<i>Distância de aterro sanitário</i>	> 3000	Muito Alta - 5
		Alta - 4		2000 - 3000	Alta - 4
	Agricultura	Média - 3		1000 -	Média - 3
	Reflorestamento	Baixa - 2		2000	Baixa - 2
	Vegetação Natural	Muito Baixa - 1		500 - 1000	Muito Baixa - 1
			<i>Distância de atividades mineração</i>	> 4000	Muito Alta - 5
				3000 - 4000	Alta - 4
				2000 - 3000	Média - 3
				1000 - 2000	Baixa - 2
				0 - 1000	Muito Baixa - 1

Fonte - Própria autoria.

## MODELAGEM ESPACIAL

A partir de técnicas de geoprocessamento, a modelagem espacial é utilizada para estruturar a elaboração dos resultados. Para essa produção, foi necessário (i) organização dos dados vetoriais de entrada (Tabela 1); (ii) tratamento dos dados; (iii) conversão para formato matricial; (iv) geração das matrizes baseada em distância euclidiana; (v) reclassificação ou fatiamento em classes; (vi) cálculo da ponderação; (vii) recorte para as áreas com restrição; (viii) seleção das áreas de interesse, e por fim, (ix) análise estatística básica. Todos os dados de entrada foram trabalhados usando o sistema de referência SIRGAS 2000 UTM zona 23 Sul e reclassificados com tamanho de célula referente a 30 metros, resultando um mapa na escala de 1:100.000. Para os dados baseados em distância, foi utilizada a ferramenta *Euclidean Distance* (ArcMap

10.3<sup>1</sup>), que calcula, para cada célula, a distância do elemento de entrada, para essa operação, o limite definido foi a divisão política do Distrito Federal. A aptidão (Tabela 2) para cada limiar dos atributos, que define se o elemento é baseado na proximidade ou afastamento, foram determinadas durante a reclassificação das matrizes.

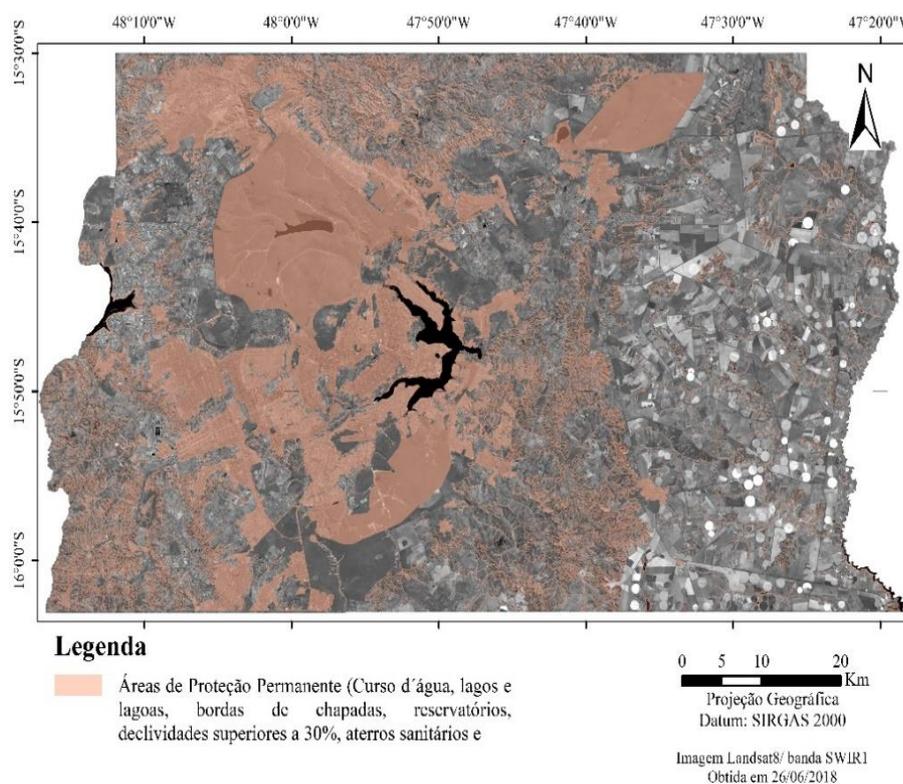
A ponderação consistiu na aplicação de operações matemáticas utilizando indexação por *overlay*, empregando as ponderações de todos os elementos em uma mesma expressão. Após a geração do mapa resultante, aplicou-se ainda uma máscara para as áreas restritivas, que não possuem nenhuma aptidão para urbanização (Tabela 3 e Figura 3).

Tabela 3 - Critérios de restrição, 2020.

<b>Critério restritivo</b>	<b>Justificativa</b>
Áreas de Preservação Permanente (curso d'água, lagos e lagoas, borda de chapada, reservatório artificial e nascentes).	Manutenção da diversidade ecológica e de seus serviços ecossistêmicos. Áreas restritas regulamentadas pela Lei Federal nº 12.651/2012.
Declividade > 30%	Restrição para parcelamento de solo urbano. Lei Federal nº 6.766/1979.
Unidades de Conservação de Proteção Integral	Garantir a integridade dos recursos que as unidades estão destinadas a proteger. Restrição imposta pela Lei Federal nº 9.985/2000, que regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal.
Infraestrutura Urbana	Áreas urbanas já consolidadas.
Áreas de Mineração + Aterros Sanitários	Áreas destinadas a outros tipos de usos não passíveis de conversão de uso para tipo urbano.

Fonte - Própria autoria.

Figura 3 - Mapa de áreas restritas, 2020.



Fonte - Geoportal (IDE/DF), USGS/SRMT, Codeplan (2019) e Sigmene (Tabela 1).

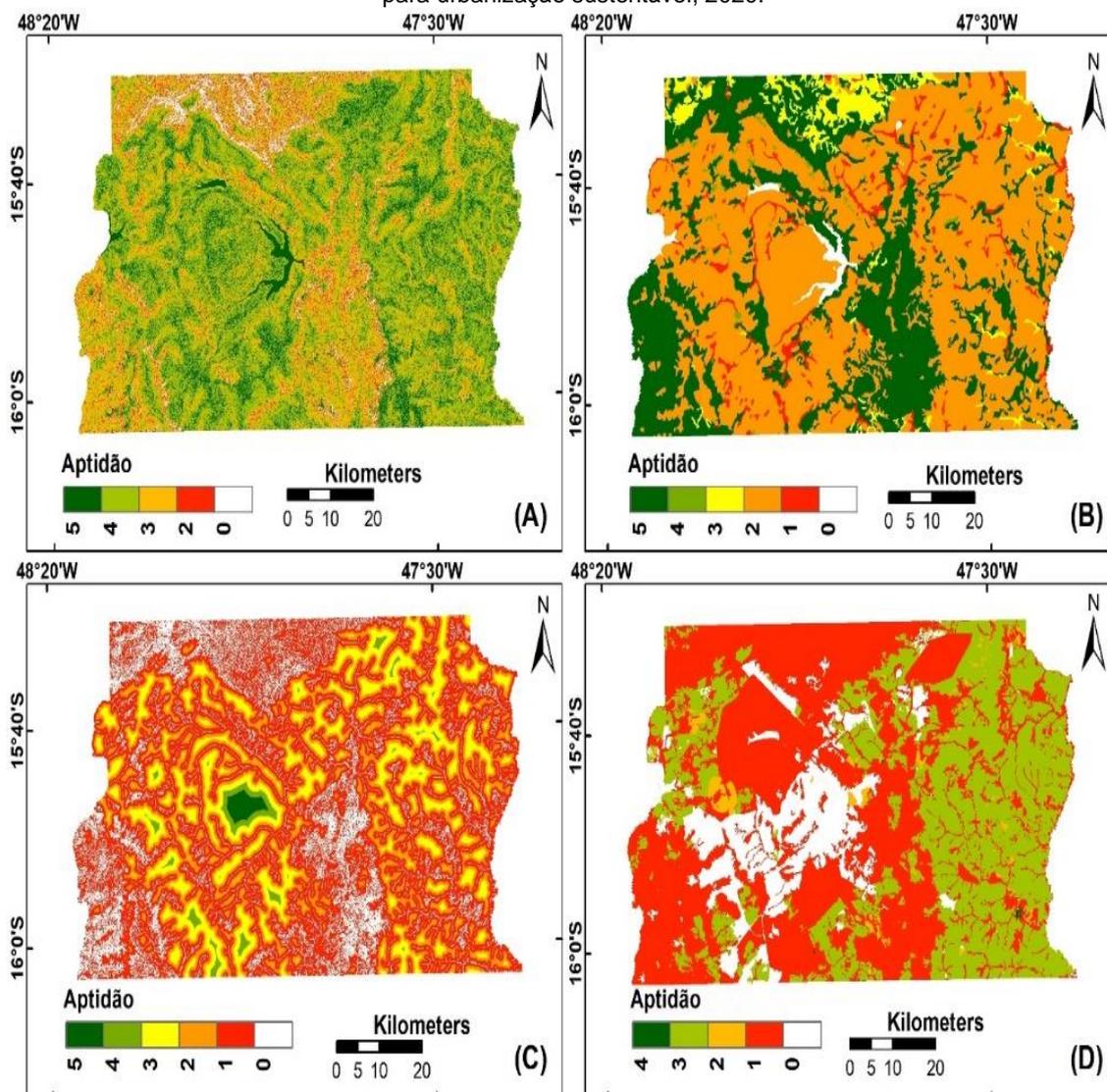
<sup>1</sup> GIS.UNB.BR; licenciamento corporativo educacional ESRI - ARCGIS; fonte: <https://ide.unb.br/como-usar/>.

A partir do mapa final, com as máscaras aplicadas, pode-se extrair as estatísticas para as áreas de interesse que tenham alguma finalidade associada a urbanização ou importância hídrica. As estatísticas geradas foram a média, desvio padrão, valores máximo e mínimo. Foram escolhidas cinco áreas de interesse, além do Distrito Federal. As áreas são: Anel de Recarga do Distrito Federal (ZEE-DF); Área de Desenvolvimento Produtivo I (ZEE-DF); Setor Habitacional Taquari II, Setor Habitacional Região dos Lagos e Setor Habitacional Expansão do Itapoã, definidos por meio das Diretrizes Urbanísticas do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT-DF, Lei Complementar N° 803, de 25 de abril de 2009; Lei Complementar N° 854, de 15 de outubro de 2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

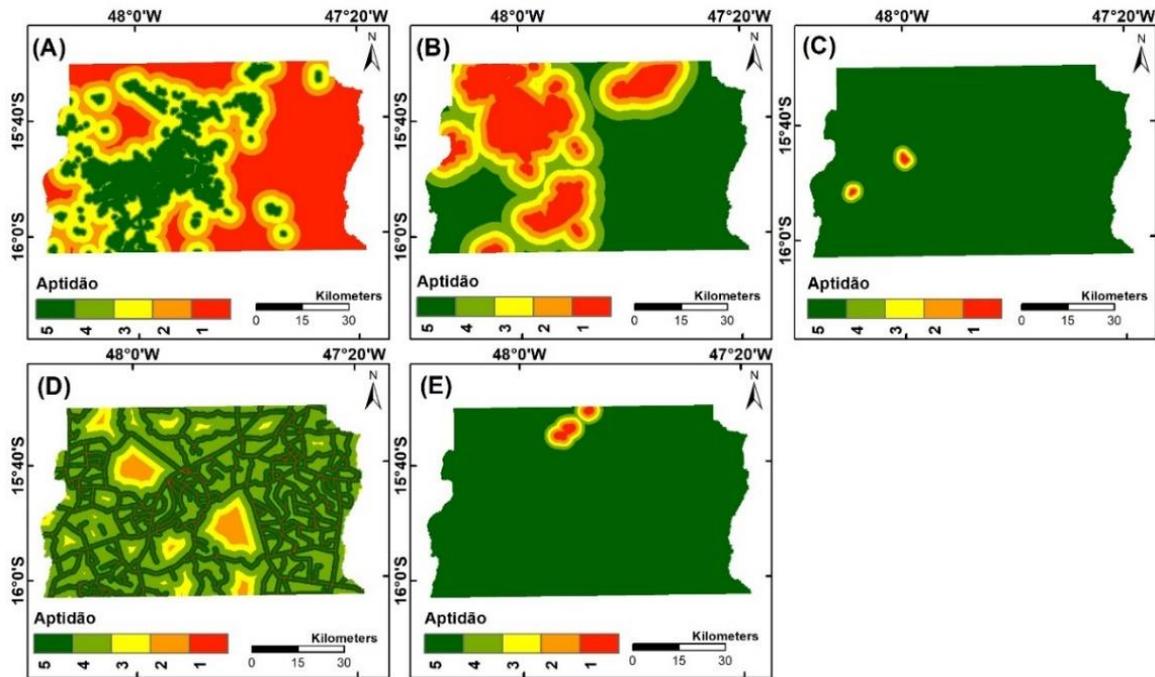
Com relação à ponderação dos atributos por meio da AHP, o critério estruturas física e ambiental (Figura 4) representou 51,4% de importância referente aos resultados das ponderações pareadas da AHP, enquanto o critério infraestrutura urbana e social (Figura 5) apontou 48,6% de importância, o que demonstra um forte equilíbrio entre as respostas adquiridas nesta etapa da ponderação.

Figura 4 - Atributos adotados para o critério Elementos físico-ambientais: A) Declividade; B) Solo; C) Distância do Rio; D) Uso e Cobertura do Solo. As áreas na cor branca são áreas com restrição, ou seja, sem potencial algum para urbanização sustentável, 2020.



Fonte - Própria autoria.

Figura 5 - Atributos adotados para o critério Infraestrutura Urbana/Social: A) Distância de Área Urbana; B) Distância de Unidades de Conservação de Proteção Integral; C) Distância de Aterro Sanitário; D) Distância de Rodovias; E) Distância de Atividades Relacionadas à Mineração. As áreas na cor branca são áreas com restrição, ou seja, sem potencial algum para urbanização sustentável.



Fonte - Própria autoria.

Os atributos naturais que apresentaram maior peso foram a declividade, distância do rio, solo e, por último, o uso e cobertura (Tabela 4). A declividade é fator fundamental de escolha, em outros trabalhos, este elemento também se mostrou com o maior peso (MYAGMARTSEREN et al., 2017; PARK et al., 2011). Um dos principais desafios para a seleção de novas áreas urbanas está entre a manutenção de espaços favoráveis a infiltração natural da água da chuva e a facilidade de implementação de edificação, ambos muito relacionados à relevos planos e pouco declives. No Distrito Federal, isso é muito claro, considerando que 71,5% de áreas urbanas já existentes encontram-se em áreas que correspondem a 0% - 8% de declividade.

Tabela 4 - Matriz de Comparação Pareada para o critério elementos físico-ambientais. Razão de Consistência igual a 0,006, 2020.

<b>Critério</b>	<b>(d)</b>	<b>(s)</b>	<b>(r)</b>	<b>(u)</b>	<b>Peso</b>
<b>Declividade (d)</b>	1	1,64	1,64	1,86	<b>0,359</b>
<b>Solo (s)</b>	0,62	1	0,83	1,36	<b>0,219</b>
<b>Distância de rio (r)</b>	0,61	1,21	1	1,78	<b>0,257</b>
<b>Uso e Cobertura (u)</b>	0,54	0,74	0,56	1	<b>0,165</b>

Fonte - Própria autoria.

Para o critério infraestrutura urbana e social (Tabela 5), os atributos relacionados à distância foram mais significativos que os atributos relacionados à proximidade. Seguindo a ordem de maior peso ponderado pela AHP, distância de aterros sanitários, UC's de proteção integral e mineração foram os

critérios baseados em possíveis impactos negativos relacionados à saúde humana e manutenção ecológica das UC's, apontando, então, que os atributos baseados em acessibilidade, proximidade de áreas urbanas e rodovias, foram menos expressivos.

Tabela 5 - Matriz de Comparação Pareada para o critério infraestruturas urbana e social, baseado em distância. Razão de Consistência igual a 0,009, 2020.

<b>Critério</b>	<b>(a)</b>	<b>(rd)</b>	<b>(uc)</b>	<b>(as)</b>	<b>(m)</b>	<b>Peso</b>
<b>Área Urbana (a)</b>	1	1,36	0,99	0,69	0,80	<b>0,189</b>
<b>Rodovias (rd)</b>	0,74	1	0,77	0,78	1	<b>0,168</b>
<b>UC's Proteção Integral (uc)</b>	1,01	1,30	1	1,19	1,14	<b>0,223</b>
<b>Aterro Sanitário (as)</b>	1,44	1,29	0,84	1	1,22	<b>0,226</b>
<b>Atividades de Mineração (m)</b>	1,26	1	0,88	0,82	1	<b>0,195</b>

Fonte - Própria autoria.

Sendo assim, as expressões finais aplicadas na modelagem espacial foram três. Fórmula 1 corresponde ao critério Elementos físico-ambientais (Tabela 4), a fórmula 2 corresponde a Infraestrutura Urbana/Social (Tabela 5) e a última expressão (fórmula 3), decorrente do resultado das fórmulas 1 e 2, gerou o mapa final:

$$(\text{uso e cobertura do solo} \times 0,165) + (\text{declividade} \times 0,359) + (\text{solo} \times 0,219) + (\text{distância do rio} \times 0,257) \quad (1)$$

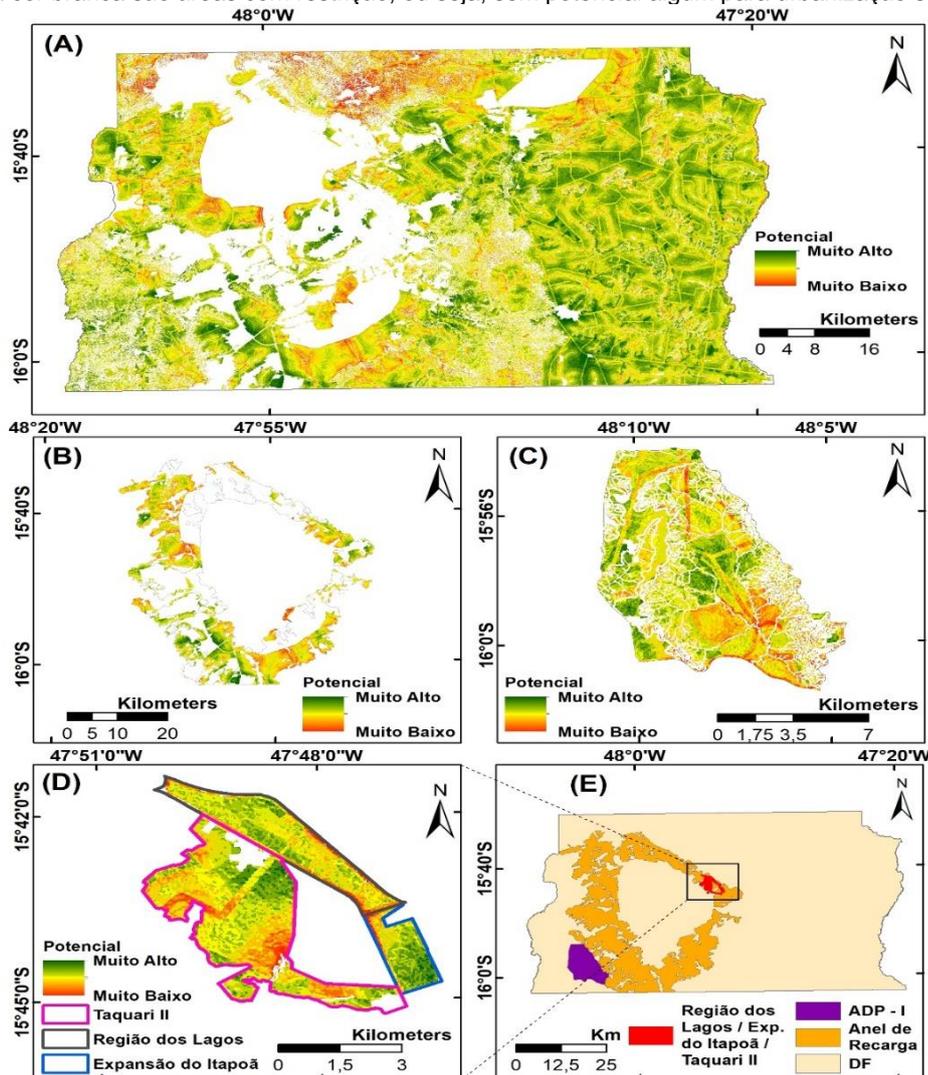
$$(\text{Distância de área urbana} \times 0,189) + (\text{Dist. UC's proteção integral} \times 0,223) + (\text{Dist. Aterro sanitário} \times 0,226) + (\text{Dist. De rodovias} \times 0,168) + (\text{Dist. de mineração} \times 0,195) \quad (2)$$

$$(\text{Elementos físico-ambientais} \times 0,514) + (\text{Infraestrutura Urbana/Social} \times 0,486) \quad (3)$$

Realizado o recorte das áreas de restrição, o mapa resultante da modelagem espacial (Figura 6), apresenta a potencialidade de novas áreas urbanas sustentáveis no Distrito Federal. Considerando as áreas mais verdes no mapa (Figura 6-A), o PAD-DF<sup>2</sup>, região leste do DF, é predominantemente ocupado por atividades agropecuárias. É possível observar, a partir das Figuras 4 e 5, que a região apontou aptidão acima da média para a maioria dos critérios, sobretudo, os relacionados à infraestrutura urbana e social. O relevo predominantemente plano e suavemente ondulado, assim como a distância de aterros sanitários e unidades de conservação, foram determinantes para o resultado, considerando, principalmente, o peso dado para estes elementos em cada critério (Tabela 5). Seguindo os elementos escolhidos, o maior fator negativo é a distância dos núcleos urbanos já instalados, dificultando a integração de elementos urbanos estruturantes, tais como serviços públicos e a acessibilidade para o fluxo de pessoas, diferente do extremo oeste do DF, que apresenta as mesmas características, mas encontra-se próximo ao núcleo urbano da Região Administrativa de Brazlândia.

<sup>2</sup> Implementado pelo Governo do Distrito Federal no início de 1977, o Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PAD-DF) teve como objetivo incorporar atividades econômicas voltadas ao plantio de cereais, cultivo de hortifrutigranjeiros, bovinocultura, avicultura, entre outros.

Figura 6 - Potencial para novas áreas urbanas: A) Anel de Recarga; B) Área de Desenvolvimento Produtivo I; C) Setores Habitacionais Taquari II e Região dos Lagos e Expansão do Itapoã; D) Localização das áreas no DF. As áreas na cor branca são áreas com restrição, ou seja, sem potencial algum para urbanização sustentável.



Fonte - Própria autoria.

Buscando uma perspectiva sistêmica, onde consideram-se os fatores elencados pelos critérios e atributos, é preciso considerar, ainda, os elementos normativos que visam orientar a ocupação territorial. Seguindo a perspectiva do Zoneamento Ecológico-Econômico do DF<sup>3</sup> (ZEE-DF), as áreas citadas apresentam diferentes tipos de objetivos quanto à destinação final sendo a primeira (PAD-DF) voltada, prioritariamente, à garantia da produção hídrica e a segunda (área rural de Brazlândia) destinada ao adensamento de atividades agropecuárias.

Ainda assim, qualquer tipo de atividade a ser implantada deve observar a capacidade de suporte ambiental estipulada por meio dos riscos ecológicos<sup>4</sup>. Através da Lei do ZEE-DF, ambas as áreas apresentaram baixo e médio risco ecológico, com exceção do mapa de contaminação de subsolo, que apresentou alto risco, levando em consideração o grau de condutividade hidráulica dos Latossolos.

<sup>3</sup> A Lei Nº 6.269, DE 29 DE JANEIRO DE 2019, que institui o Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal – ZEE-DF, é um instrumento estratégico de planejamento e gestão territorial, cujas diretrizes e critérios passam a orientar as políticas públicas distritais voltadas ao desenvolvimento socioeconômico sustentável e à melhoria da qualidade de vida da população (DISTRITO FEDERAL, 2019).

<sup>4</sup> Segundo a Lei do ZEE-DF (Distrito Federal, 2019), o conceito de risco ecológico corresponde a “chance de ocorrência de um evento negativo que resulte em consequências adversas ou perdas aos seres vivos e ao meio ambiente, (...) cujo grau do risco está associado à probabilidade de ocorrência e à magnitude de suas consequências”. O ZEE-DF mapeou os seguintes riscos ecológicos: Perda de Área de Recarga de Aquífero, Perda de Solo por Erosão, Contaminação do Subsolo e Perda de Áreas Remanescentes de Cerrado Nativo (ZEE-DF, 2017).

Dentre as áreas específicas selecionadas para análise (Tabela 6), duas foram referenciadas pelo ZEE-DF, o Anel de Recarga e a Área de Desenvolvimento Produtivo I (ADP-I). A primeira, localizada nos limites da Bacia do Lago Paranoá (Mapa 6-B), foi classificada com alto risco de perda de recarga de aquífero, ou seja, exerce papel essencial para o sistema de águas superficiais e subterrâneas, qualquer impacto negativo em um desses sistemas implica na perda de qualidade ou quantidade hídricas em todo o ciclo hidrológico (TUNDISI e TUNDISI, 2015; ZEE-DF, 2017).

Tabela 6 - Áreas Específicas de Análise, 2020.

Área de Interesse	área (ha)	área restrita (ha)	área restrita (%)	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Distrito Federal	577.034,38	211.822	36,70	1,70	4,43	3,40	0,30
Anel de Recarga DF	91.805,82	46.993	51,18	1,18	4,36	3,38	0,28
ADP 1 (ZEE-DF)	9.644,07	3.078	31,91	2,33	4,13	3,44	0,23
Taquari II	1.342,67	140	10,42	2,28	3,84	3,32	0,21
Região dos Lagos	611,95	19	3,10	2,70	4,21	3,48	0,23
Expansão do Itapoã	245,67	5	2,03	2,70	3,95	3,54	0,25

Fonte - Própria autoria.

Apesar disso, o Anel de Recarga, que abrange áreas estipuladas pelo PDOT-DF como novas áreas habitacionais como o Taquari II, Região dos Lagos e Expansão do Itapoã, foi a única área de análise que apresentou nível de restrição acima de 50% (Tabela 6), o que também pode ser um indicativo de relevância ambiental, principalmente no que diz respeito à segurança hídrica local.

Mesmo apresentando função essencial para o controle hídrico local, a classificação apontou pontos de aptidão para novas áreas urbanas no Anel de Recarga, sobretudo na região sudoeste do mapa (Figura 6-B), onde é exercida atividade agrícola, segundo o mapa de uso e cobertura do solo de 2019. Além de outros critérios favoráveis (acima de aptidão 3), como os de infraestruturas urbana e social.

A ADP-I, localizada na região sudoeste do DF (Figura 6-C), está voltada ao desenvolvimento econômico a partir da implantação de infraestrutura para o fluxo de pessoas, cargas e mercadorias, buscando a integração de modais de transportes rodoviário, ferroviário e aeroviário, podendo demandar a implantação de infraestrutura (DISTRITO FEDERAL, 2019). A área possui 31,91% de terras restritas à implantação urbana (Tabela 6) e abrange a Zona Urbana de Expansão e Qualificação 5 do PDOT, situada no extremo norte da área, não correspondente às áreas com maior potencial, parte central e sudoeste da ADP-I.

Os Setores Habitacionais instituídos pelo PDOT-DF, analisados nesta pesquisa (Figura 6-D), tiveram, relativamente, baixo percentual de área em localidades consideradas aqui como restritas. Apesar de apresentarem alguma aptidão para urbanização, as áreas possuem baixa capacidade de suporte ambiental, segundo os riscos ecológicos publicados pelo ZEE-DF. Os três setores estão em áreas de alto risco de perda de recarga de aquífero e contaminação de subsolo. Um dos pontos mais críticos da área é a proximidade com o Lago Paranoá, podendo trazer, em decorrência de novas urbanizações, problemas relacionados às cargas difusas de poluição (COSTA e KOIDE, 2013), risco de erosão e assoreamento do reservatório, que aumentam durante os eventos de chuvas convectivas típicas da região (FRANZ et al., 2014).

Se por um lado foi possível identificar áreas com potencial para o urbano, por outro, é possível observar áreas com maior necessidade de atenção quanto à manutenção ecológica (áreas vermelhas), priorizando outras atividades que desempenham o menor impacto ambiental possível, pois a perda de Cerrado decorrente da ação antrópica é um fator preocupante, sobretudo, quando ocorre próxima a cursos d'água afetando áreas de mananciais que abastecem o DF (ZEE-DF, 2017). A exemplo está a região noroeste do mapa (Figura 6-A), onde constituem-se legalmente espaços designados à preservação, Área de Proteção Ambiental do Cafuringa e Refúgio da Vida Silvestre da Mata Seca e a centro-oeste do mapa, na Floresta Nacional de Brasília e Área de Relevante Interesse Ecológico do Córrego Cabeceira do Vale.

A manutenção deste bioma torna-se fundamental para a regulação do ciclo hidrológico, além de exercer o papel de sustentador do microclima e como sumidouro de carbono (LOPES e MIOLA, 2010). Para a gestão

ambiental e territorial, algumas formas de ocupação do solo resultam como uma significativa ameaça na estrutura e funcionalidade desses dois elementos, sobretudo, quando eles não podem assegurar a entrega dos serviços ecossistêmicos e ambientais necessários e suficientes para garantir o bem-estar humano em longo prazo, ou seja, representando a capacidade de suporte ambiental deste recurso (ZEE-DF, 207).

A escolha de local apropriado para ocupação urbana é um passo importante para o processo de expansão. Porém, é preciso estar atento ao modo como isso será consolidado, sobretudo, quando se trata de instalação baseada em baixos impactos ambientais. Trata-se de um planejamento baseado na forma e não mais no onde. Sobre isso, no Distrito Federal a abordagem por Tipos de Estruturas Urbanas (UST's) traça um panorama sobre os tipos de usos e coberturas urbanas, além das características físicas de ocupação, adensamento e finalidade (CASTRO et al., 2019, SERAPHIM, 2018), que pode ser importante aliado para melhor compreensão do espaço e das suas características naturais, necessários para definir a melhor estratégia de planejamento para implantação de novas áreas de ocupação.

Segundo Castro et al. (2019), a presença de áreas com vegetação arbórea intraurbanas, no Distrito Federal, está altamente relacionada a populações com maior renda, em espaços exclusivamente residenciais. As UST's que apresentam espaços adensados e com altas taxas de ocupação estão associadas a populações com menor renda, o que configura uma alta desigualdade de acesso aos recursos que o meio natural oferece, resultando em uma menor qualidade de vida (CASTRO et al., 2019).

As áreas verdes intraurbanas possuem importantes funções na regulação da temperatura local (BIAS et al., 2003), no manejo sustentável das águas pluviais e infiltração natural (OLIVEIRA e BEZERRA, 2017). Elas devem ser incorporadas, inclusive, como meios para reduzir o isolamento e a fragmentação de habitat, preservando corredores que permitam o fluxo entre espécies remanescentes (COLLINGE, 1996; KONG et al., 2010). Há, ainda, evidências que comprovam que a presença de vegetação em espaços residenciais está associada a menor risco de câncer (KONDO et al., 2018).

Sendo assim, é necessário garantir medidas de desenvolvimento sustentável para todos os níveis sociais, tais como Soluções Baseadas na Natureza, que buscam soluções acessíveis, inspiradas e apoiadas pela natureza fornecendo benefícios ambientais, sociais e econômicos através de intervenções locais (ANTUÑA-ROZADO et al., 2019; NESSHÖVER et al., 2017), como soluções que visam, entre outras, melhorar a qualidade do solo e suas funções ou medidas que favoreçam a infiltração natural, evitando alagamentos, erosões e aumentando a resiliência local (KEESSTRA et al., 2018; RONCHI e ARCIDIACONO, 2019).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas do Distrito Federal que apontaram potencial para a urbanização sustentável, como as regiões dos extremos oeste e leste do DF, respectivamente: PAD-DF e Brazlândia, e a região da Rota do Cavalo (DF-440) próximo ao núcleo urbano de Sobradinho, são regiões que apresentam, em geral, baixo e médio risco ecológico, embora sejam destinadas a finalidades distintas, tais como, garantir a produção hídrica e o adensamento de atividades agropecuárias.

Mesmo sendo feita uma revisão dessas finalidades, nos planos territoriais de ordenamento e Lei do ZEE, a expansão urbana pautada em um sistema ecológico territorial deve ser implementada racionalmente, de forma a promover o uso sustentável da terra e garantindo a não impermeabilização excessiva do solo, com adoção de materiais porosos e drenantes.

Através das técnicas de análises espaciais alinhadas à decisão por multicritério, o mapa final apresentou resultados coerentes. No que diz respeito a escolha dos participantes para o processo de ponderação, é importante que sejam adotados critérios simples como: conhecimento técnico mínimo para elaboração de produtos relacionados ao uso do território, participação nos atos de decisão e clareza sobre os dados de entrada e sua utilização dentro do projeto.

A metodologia adotada constitui como uma importante ferramenta para garantir o menor impacto ambiental na implantação de novos espaços urbanos, uma vez que a escolha dos critérios, a sua classificação e a sua ponderação foram trazidas como parte integrante de suporte para os sistemas ecológicos fundamentais, o que visa garantir o funcionamento sustentável do território.

Cabe ressaltar que a escolha dos dados de entrada é fundamental, pois é preciso avaliar a sua disponibilidade e, sobretudo, sua qualidade, especialmente quando se trata da escala de mapeamento. Cada contexto regional apresenta uma complexidade, o que pode exigir a adoção ou exclusão de outros critérios.

A escala do mapa resultante garante uma indicação dos locais com potencial urbano sustentável. No entanto, é necessária a discussão, em maior escala, e paralelamente, entre as morfologias urbanas, a fim de garantir meios sustentáveis para uma implementação em larga escala, que comporte maior número de famílias em espaços residenciais e também em áreas comuns, zonas comerciais e zonas industriais.

Embora as UST's apresentem quais padrões estão incorporados a presença de espaços verdes e abertos, é preciso qualificar ou requalificar novas áreas, a fim de democratizar o acesso a ambientes ecologicamente saudáveis, garantindo qualidade de vida às atuais e futuras gerações.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à ESRI pelo uso do kit de ferramentas que é composto pela família ArcGis 10.3, por meio o contrato nº 2011 MLK 8733, e à IMAGEM pelo suporte e viabilidade de cumprimento dos termos de uso entre o Instituto de Geociências e ESRI e para o suporte do *software*.

## REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. **Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017** (BHO 2017). ANA, 2017. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>. Acesso em: 26 ago. 2020.

ANANDA, J.; HERATH, G. Multi-attribute preference modelling and regional land-use planning. **Ecological economics**, 65(2), 325-335, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.06.024>

ANTUÑA-ROZADO, C. et al. Nature Based Solutions (NBS) for sustainable and resilient cities: experiences from Europe and Brazil. In **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** (Vol. 297, No. 1, p. 012001). IOP Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/297/1/012001>

BEHZADIAN, M. et al. A state-of the-art survey of TOPSIS applications. **Expert Systems with applications**, 39(17), 13051-13069, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>

BIAS, E. et al. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial/ INPE, 2005, p.1741-1748.

BRASIL. **Lei nº 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. Brasil, 2012.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasil, 2001.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasil, 2000.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Brasil, 1979.

BRYAN, B. et al. Managing natural capital and ecosystem services: Identifying strategic regional priorities in the South Australian Murray-Darling Basin. **CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship**, 2009.

BUCHY, M.; HOVERMAN, S. Understanding public participation in forest planning: a review. **Forest policy and Economics**, 1(1), 15-25, 2000. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(00\)00006-X](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(00)00006-X)

CASTRO, K. et al. New perspectives in land use mapping based on urban morphology: A case study of the federal district, Brazil. **Land Use Policy**, 87, 104032, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104032>

CAVALCANTI, M. et al. Levantamento geofísico (eletrorresistividade) nos limites do aterro controlado do jokey clube, vila estrutural, Brasília-DF. **Geociências (São Paulo)**, v. 33, n. 2, p. 298-313, 2014.

CERRETA, M.; DE TORO, P. Urbanization suitability maps: a dynamic spatial decision support system for sustainable land use. **Earth System Dynamics**, v. 3, n. 2, p. 157-171, 2012. <https://doi.org/10.5194/esd-3-157-2012>

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Mapeamento da cobertura do Distrito Federal: 1984 a 2019 – **Relatório Síntese**. Brasília, 2019.

- \_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico do Distrito Federal: 2018**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://infodf.codeplan.df.gov.br/>. Acesso em: 16 jun. 2021.
- COLLINGE, S. K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. **Landscape and urban planning**, 36(1), 59-77, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(96\)00341-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(96)00341-6)
- COSTA, E. B. Intervenções em centros urbanos no período da globalização. **Revista Cidades**, 9(16), 2012.
- COSTA, M.; KOIDE, S. O impacto da poluição difusa oriunda do sistema de drenagem urbano no lago paranoá. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, Bento Gonçalves-RS. **Anais...** p. 1-8, 2013.
- 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. Diário Oficial do Distrito Federal. Brasília, 29 jan. 2019. Disponível em: [http://www.tc.df.gov.br/sinj/Norma/912a61dfc1134ffebb691aa3e864673e/Lei\\_6269\\_29\\_01\\_2019.html](http://www.tc.df.gov.br/sinj/Norma/912a61dfc1134ffebb691aa3e864673e/Lei_6269_29_01_2019.html). Acesso em: 20 out. 2020.
- \_\_\_\_\_. **Lei complementar nº 854**, de 15 de julho de 2012. Atualiza a Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009, que aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal. Brasília, 2012. Disponível em: [http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/72806/Lei\\_Complementar\\_854\\_15\\_10\\_2012.html#:~:text=Atualiza%20a%20Lei%20Complementar%20n%C2%BA,PDOT%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias](http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/72806/Lei_Complementar_854_15_10_2012.html#:~:text=Atualiza%20a%20Lei%20Complementar%20n%C2%BA,PDOT%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias). Acesso em: 7 jun. 2020.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço de Produção de Informação (Brasília, DF). **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA-EPI. 2006. 412p.
- \_\_\_\_\_. **Mapa de solos do Distrito Federal (1:100.000)**. Brasília: EMBRAPA-EPI. - Serviço de Produção de Informação. 1978.
- ESRI - Environmental System Research Institute. **ArcGis 10.3**. Licenciamento corporativo educacional.
- FERREIRA, J. C. **Estrutura ecológica e corredores verdes. Estratégias Territoriais para um futuro urbano Sustentável**. In: CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL, INTEGRADO SUSTENTÁVEL, 4, Faro, Portugal. **Anais...** Faro (Vol. 6), 2010.
- FERREIRA, N. et al. Mapa de fragilidade ambiental como auxílio para o planejamento urbano e gestão de recursos hídricos. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, 12(3), 2016. <https://doi.org/10.17271/1980082712320161411>
- FRANKHAM, R. et al. Implications of different species concepts for conserving biodiversity. **Biological Conservation**, 153, 25-31, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.04.034>
- FRANZ, C. et al. Sediments in urban river basins: Identification of sediment sources within the Lago Paranoá catchment, Brasilia DF, Brazil—using the fingerprint approach. **Science of the Total Environment**, 466, 513-523, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.056>
- GOEPEL, K.D. Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, Vol. 10 Issue 3 2018, pp 469-487, 2018. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>
- HERATH, G.; PRATO, T. (Ed.). **Using multi-criteria decision analysis in natural resource management**. Ashgate Publishing, Ltd., 2006.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2020**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/panorama>. Acesso em: 20 maio 2021.
- \_\_\_\_\_. **Projeções da população: Brasil e unidades da federação: revisão 2018**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 20 maio 2021.
- IDE/DF - Infraestrutura de Dados Espaciais do Distrito Federal (IDE/DF) - **Geoportal**. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>. Acesso em 19 jan. 2020.

- KESSTRA, S. et al. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. **Science of the Total Environment**, 610, 997-1009, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.077>
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation biology**, 19(3), 707-713, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>
- KONDO, M. et al. Urban green space and its impact on human health. **International journal of environmental research and public health**, 15(3), 445, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030445>
- KONG, F. et al. Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. **Landscape and urban planning**, 95(1-2), 16-27, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.11.001>
- LIMA, J. Situação e perspectivas sobre as águas do Cerrado. **Ciência e Cultura**, v. 63, 27-29, 2011. <https://doi.org/10.21800/S0009-67252011000300011>
- LOPES, R.; MIOLA, D. Sequestro de Carbono em Diferentes Fitofisionomias do Cerrado. SynThesis **Revista Digital FAPAM**. V.2, nº2, p.127-143. Pará de Minas: FAPAM, 2010.
- MANGLA, S. et al. Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study. **Resources, Conservation and Recycling**, 104, 375-390, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.01.001>
- MENEZES JÚNIOR, J. et al. Álgebra de mapas aplicado na determinação das ocupações irregulares e o risco ambiental em Catolé do Rocha-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 11(1), 25, 2016. <https://doi.org/10.18378/rvads.v11i1.3925>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. **O Bioma Cerrado**. 2020. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em: 03 mar. 2020.
- MOSADEGHI, R. et al. Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. **Computers, Environment and Urban Systems**, 49, 54-6, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.10.001>
- MOURA, A. Geoprocessamento aplicado ao planejamento urbano e à gestão do patrimônio histórico de Ouro Preto-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2003. v. 21. p. 1-9.
- MYAGMARTSEREN, P. et al. Implications of a spatial multicriteria decision analysis for urban development in Ulaanbaatar, Mongolia. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2017, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2819795>
- NESSHÖVER, C. et al. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. **Science of the Total Environment**, 579, 1215-1227, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106>
- OLIVEIRA, T. e BEZERRA, M. Manejo sustentável das águas pluviais no meio urbano: o caso de Brasília. **Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**, p. 82, 2017.
- PARK, S. et al. Prediction and comparison of urban growth by land suitability index mapping using GIS and RS in South Korea. **Landscape and urban planning**, 99(2), 104-114, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.09.001>
- PAVIANI, A. Demandas sociais e ocupação do espaço urbano. O caso de Brasília, DF. **Cadernos Metrópole.**, n. 21, 2009.
- PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 20 fev. 2020.
- RAJU, K.; KUMAR, D. **Multicriterion analysis in engineering and management**. New Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd., 257 p., 2010.
- RATTER, J. et al. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of botany**, v. 80, n. 3, p. 223-230, 1997. <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0469>
- RODRIGUES, T. et al. Mapeamento da vulnerabilidade aos processos erosivos a partir de métodos multicriteriais: um estudo sobre as condições ambientais da Bacia Hidrográfica da Represa Laranja Doce, Martinópolis–sp. **Formação** (Online), 25(45), 2018. <https://doi.org/10.33081/formacao.v25i45.5310>
- RONCHI, S.; ARCIDIACONO, A. Adopting an Ecosystem Services-Based Approach for Flood Resilient Strategies: The Case of Rocinha Favela (Brazil). **Sustainability**, 11(1), 4, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11010004>

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill, New York, 1980.  
<https://doi.org/10.21236/ADA214804>

SANO, E. et al. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of environmental management**, 232, 818-828, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>

SERAPHIM, A. **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.

SIGMINE – Sistema de Informações Geográficas da Mineração. Disponível em:  
<http://sigmine.dnrm.gov.br/webmap/>. Acesso em: 27 jun. 2020.

SILVA, C. et al. Methodological Guidelines for the Use of Geoprocessing Tools: Spatial Analysis Operations—Kernel, Buffer and the Remote Sensing Image Classification1. **Agricultural Sciences**, 6(07), 707, 2015. <https://doi.org/10.4236/as.2015.67068>

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.

TUNDISI, J. G. e TUNDISI, T. M. As múltiplas dimensões da crise hídrica. **Revista USP**, n. 106, p. 21-30, 2015. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p21-30>

USGS – United States Geological Survey. **EarthExplorer**. Disponível em:  
<https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

VITALLI, P. et al. Considerações sobre a legislação correlata à zona-tampão de unidades de conservação no Brasil. **Ambiente e Sociedade**, v. 12, n. 1, p. 67-82, 2009.  
<https://doi.org/10.1590/S1414-753X2009000100006>

WANG, J. et al. Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection. **Applied soft computing**, 9(1), 377-386, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2008.04.014>

WELLS, M.; KING, P. **Land capability assessment methodology for rural-residential development and associated agricultural land uses**. Department of Agriculture and Food, Western Australia, Perth. Report 1, 1989.

ZEE-DF - Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal. **Cadernos Técnicos: Matriz Ecológica**. Brasília: Governo do Distrito Federal / Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Distrito Federal, 164 p., 2017.

ZYOUN, S. H.; FUCHS-HANUSCH, D. A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. **Expert systems with applications**, 78, 158-181, 2017.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.016>

---

Recebido em: 21/02/2021

Aceito para publicação em: 29/06/2021