

PLANEJAMENTO AMBIENTAL URBANO:

ALICERCES DE UMA CIDADE INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

ORGANIZAÇÃO:

EDILSON DE SOUZA BIAS
VALDIR ADILSON STEINKE



caliandra

Universidade de Brasília
ICH - Instituto de Ciências Humanas

PLANEJAMENTO AMBIENTAL URBANO: ALICERGES DE UMA CIDADE INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

Organizadores:

Edilson de Souza Bias
Valdir Adilson Steinke



caliandra

Brasília - DF
2024



Conselho Editorial

Membros internos:

Prof. Dr. Bruno Leal (HIS/UnB) - Presidente

Prof. Dr. Herivelto Pereira de Souza (FIL/UnB)

Prof^a Dr^a Maria Lucia Lopes da Silva (SER/UnB)

Prof^a. Dr^a. Ruth Elias de Paula Laranja (GEA/UnB)

Membros externos:

Prof^a Dr^a Ângela Santana do Amaral (UFPE)

Prof^a Dr^a Joana Maria Pedro (UFSC)

Prof^a Dr^a Marine Pereira (UFABC)

Prof. Dr. Ricardo Nogueira (UFAM)

Membros internacionais:

Prof. Dr. Fernando Quiles García (Universidad Pablo de Olavide - Espanha);

Prof^a Dr^a Ilía Alvarado-Sizzo (Universidad Autonoma de México)

Prof^a Dr^a Paula Vidal Molina (Universidad de Chile)

Prof. Dr. Peter Dews (University of Essex - Reino Unido)

© 2024.



Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens dessa obra é dos autores.

[1ª edição]

Elaboração e informações

Universidade de Brasília

ICH - Instituto de Ciências Humanas

Campus Universitário Darcy Ribeiro, ICC Norte, Mesanino Bloco 01qr Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte, Brasília DF CEP: 70297-400 Brasília - DF, Brasil

E-mail: ihd@unb.br

Contato: (61) 3107-7364

Site: ich.unb.br

Equipe técnica

Parecerista: Charlei Aparecido da Silva (UFGD)

Editoração: Valdir Adilson Steinke e Edilson de Souza Bias

Revisão: Amabile Zavattini

Capa: Thamirys Verneque Silva dos Reis

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade de Brasília - BCE/UNB)

P712 Planejamento ambiental urbano [recurso eletrônico]
 : alicerces de uma cidade inteligente e
 sustentável / organizadores: Edilson de Souza
 Bias, Valdir Adilson Steinke. – Brasília :
 Universidade de Brasília, Instituto de Ciências
 Humanas, 2024.
 262 p. : il.

Inclui bibliografia.
Modo de acesso: World Wide Web:
<caliandra.ich.unb.br>.
ISBN 978-85-93776-08-3.

1. Planejamento urbano. 2. Sustentabilidade. 3.
Cidades inteligentes. I. Bias, Edilson de Souza
(org.). II. Steinke, Valdir Adilson (org.).

CDU 711.4

Heloiza dos Santos - CRB 1/1913



Dedicatória

A organização de uma obra exige tempo, esforço, paciência e muito trabalho, o qual deve ser orientado por uma finalidade, um objetivo, um fator motivador. No caso deste trabalho, o fator motivador foi proporcionar a pesquisadores, estudiosos e estudantes das questões urbanas uma articulação de textos úteis e atuais para apoiá-los e orientá-los em seus estudos.

Dedicamos esta obra às nossas instituições, que nos proporcionam o ensino e a pesquisa contínua, bem como a todos os nossos estudantes, tanto de graduação quanto de pós-graduação. As atividades de docência representam para todos nós um rico manancial de reflexões, que possibilitam aprofundamentos sobre todos os temas abordados nesta obra.

Apresentação

A sustentabilidade urbana e o conceito de cidades inteligentes têm se tornado cada vez mais relevantes no contexto do desenvolvimento contemporâneo. À medida que a urbanização avança em ritmo acelerado, surge a necessidade premente de repensar os modelos de planejamento e gestão das cidades, visando não apenas o crescimento econômico, mas também a preservação ambiental e o bem-estar social. Nesse cenário, a sustentabilidade urbana emerge como um paradigma essencial, propondo uma abordagem holística que equilibra o uso de recursos naturais, a qualidade de vida dos habitantes e a resiliência dos ecossistemas urbanos.

As cidades inteligentes, por sua vez, representam uma estratégia inovadora para enfrentar os desafios da urbanização sustentável. Através da integração de tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), big data e inteligência artificial, essas cidades buscam otimizar a eficiência dos serviços urbanos, melhorar a infraestrutura e promover a participação cidadã. Assim, as cidades inteligentes não apenas contribuem para a sustentabilidade ambiental, mas também para a inclusão social e a governança participativa, elementos fundamentais para o desenvolvimento sustentável.

Portanto, torna-se imperativo que os planejadores urbanos e os tomadores de decisão estejam alinhados com os princípios da sustentabilidade e da inovação tecnológica. A adoção de estratégias de planejamento que priorizem a sustentabilidade e a inteligência urbana é crucial para construir cidades resilientes, capazes de enfrentar os desafios ambientais, sociais e econômicos do século XXI.

As demandas recentes, desencadeadas pelo acelerado desenvolvimento tecnológico e pelas questões de ordenamento territorial, exigem cada vez mais um conjunto de observações e análises abrangentes, especialmente no que se refere à dimensão urbana. É nesse contexto territorial que a ampla maioria da população desempenha suas atividades cotidianas.

Refletindo sobre esses aspectos, nos empenhamos em reunir um grupo de especialistas que pudessem contribuir para o debate desse tema, motivados pelas demandas atuais e pelas questões que já se perfilam no horizonte futuro das cidades.

Entretanto, para nós, não bastava apenas reunir especialistas; desejávamos também trazer amigos que, no cotidiano e ao longo de muitos anos, sempre que nos encontramos, trazem à tona a temática, permitindo-nos compartilhar ideias e sentimentos em torno dos desafios do planejamento urbano.

Para este trabalho, foi importante a localização geográfica dos autores,

situados em grandes centros urbanos, de modo que pudessem trazer, em seus capítulos, um pouco do que as vivências nessas áreas agregaram em termos de observações e propostas.

Nesse sentido, o livro “Planejamento Ambiental Urbano: Alicerces de uma Cidade Inteligente e Sustentável” é apresentado com um total de onze capítulos, tendo como tema central o planejamento urbano na busca por cidades inteligentes e sustentáveis, abordando um conjunto de elementos que devem estar presentes na construção desses grandes desafios.

Esperamos estar entregando uma obra que possa ser de grande utilidade para todos os interessados no assunto.

Aproveitem!

Índice

Prefácio _____	10
Capítulo 1: Planejamento Urbano e a construção de Indicadores de Sustentabilidade – O que aprendemos ou o que temos que aprender._____	16
Capítulo 2: Cidades sustentáveis, ODS 11 - Educação ambiental: um desafio para o planejador urbano ou uma ferramenta indispensável?_____	50
Capítulo 3: Proposição de indicadores de qualidade ambiental urbana_____	64
Capítulo 4: O desenho da cidade e o conforto térmico ambiental: estratégias para obtenção de formas urbanas com maiores alternativas ecotérmicas._____	82
Capítulo 5: O planejamento com a infraestrutura da paisagem cerratense: a contribuição da arborização_____	102
Capítulo 6: Mobilidade como um Serviço: Indicações de Estratégias Interventivas no Hábito de Usar Automóvel Baseadas na Revisão da Literatura_____	122
Capítulo 7: Eventos pluviais extremos no Distrito Federal: desafios para adaptação às mudanças climáticas em busca de uma cidade sustentável_____	140
Capítulo 8: Drenagem urbana sustentável, geotecnologias e cidades inteligente_____	170
Capítulo 9: Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumento de análise da qualidade ambiental urbana: Uma abordagem metodológica_____	198
Capítulo 10: Aplicações e Ferramentas Geotecnológicas para a Gestão Ambiental Urbana_____	222
Capítulo 11: A integração de dados geográficos para o planejamento urbano sustentável – o que usar e como usar?_____	238

Prefácio

António Vieira

Ambiente e sustentabilidade são dois termos que se tornaram recorrentes, quer no contexto académico, onde são objeto de estudo de diversas áreas científicas, como é o caso da Geografia, quer também no discurso político e na própria sociedade.

Com efeito, as preocupações decorrentes dos problemas ambientais globalmente difundidos especialmente a partir da década de 1970, têm despertado a atenção das sociedades a nível mundial, alertando-as para a necessidade de promoção de práticas e de políticas de desenvolvimento apoiadas em princípios de sustentabilidade.

No contexto das implicações decorrentes das mudanças globais e das mudanças climáticas, que, ainda que afetem as comunidades locais, têm uma abrangência global e requerem a implementação de estratégias globais, mas também com impacte local, há um conjunto diversificado de problemáticas que obrigam a uma reflexão profunda e uma atuação individual, mas também social.

Uma das estratégias globais em implementação que assume um caráter de elevada relevância a nível internacional é a Agenda 2030, promovida pela ONU, e que procura mobilizar as nações numa estratégia comum desenvolvendo esforços globais em torno de objetivos específicos consubstanciados em metas comuns, e materializados nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Dentre os 17 Objetivos encontra-se um especificamente direcionado para o ambiente urbano, o Objetivo 11 Cidades e Comunidades Sustentáveis.

O espaço urbano constitui, inevitavelmente, um território fulcral para a discussão destas problemáticas ambientais. Com efeito, trata-se de um espaço de concentração populacional por excelência, onde as questões de sustentabilidade assumem particular destaque, esgrimindo-se argumentos relativos à qualidade de vida e ambiente (urbano), por um lado, e planeamento, infraestruturas ou mobilidade, por outro, nem sempre antagónicos, mas, por vezes, dificilmente compatíveis.

É sobre este espaço de privilegiada interseção entre processos naturais e tecnológicos que se debruçam os trabalhos propostos neste livro, intitulado *Planejamento Ambiental Urbano: Alicerces de uma Cidade Inteligente e Sustentável*.

Organizado pelos colegas Edilson Bias e Valdir Steinke, com edição do selo Caliandra do Instituto de Ciências Humanas da UnB, a presente obra reúne um conjunto de trabalhos, redigidos por 28 autores de reconhecida autoridade nas

temáticas abordadas e oriundos de diversas instituições universitárias brasileiras, que abordam precisamente a temática complexa da sustentabilidade em espaço urbano, dedicando-se, cada capítulo, a aspectos particulares que contribuem para um conhecimento mais aprofundado de aspectos que vão desde a definição de indicadores ambientais à sua operacionalização através de geotecnologias.

O capítulo 1, intitulado "Planejamento Urbano e a construção de Indicadores de Sustentabilidade – O que aprendemos ou o que temos que aprender", da autoria de Fernando Luiz Araújo Sobrinho e de Leticia Del Grossi Michelotto, introduz a problemática do planeamento das cidades dentro de uma perspectiva de sustentabilidade, enquadrando-o, num primeiro momento, nas mais recentes estratégias institucionais internacionais e nas perspectivas que norteiam atualmente o pensamento dos gestores urbanos. Neste contexto, fazem referência às diferentes teorias do planeamento urbano, discutindo o conceito de cidade no âmbito do desenvolvimento sustentável e sob uma perspectiva geográfica, enunciando alguns instrumentos de quantificação da sustentabilidade do ambiente urbano, nomeadamente ao nível da implementação de indicadores. Para além da discussão dos conceitos inerentes a esta metodologia, são apresentados e discutidos alguns casos de implementação de indicadores de sustentabilidade urbana, nomeadamente em utilização na Europa, bem como a sua aplicação em casos no Brasil. Fica claro, contudo, que um fator determinante para a eficiência de uma metodologia deste tipo é a sua adequação "às necessidades de sustentabilidade da cidade onde está sendo implementado".

O capítulo 2 tem como título "Cidades sustentáveis, ODS 11 - Educação ambiental: um desafio para o planejador urbano ou uma ferramenta indispensável?". As autoras, Izabel Cristina Bruno Bacellar Zaneti, Elaine Gomes Borges e Tahinah Martins, discutem neste texto a importância da educação ambiental no âmbito da implementação de políticas públicas direcionadas para a sustentabilidade das cidades. Tendo como ponto de partida os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, promovidos pela ONU, e especificamente o ODS 11, promovem uma reflexão sobre a educação ambiental enquanto ferramenta ao dispor do planeamento urbano, permitindo que "as pessoas e as comunidades passem a ter um papel ativo, participativo, consciente e solidário, ou seja, um papel de ator social, transformador da realidade, capaz de analisar, discutir e opinar".

Valdir Steinke propõe, no terceiro capítulo, indicadores de qualidade ambiental urbana. Partindo do conceito de paisagens antropogénicas, como as resultantes das modificações decorrentes das dinâmicas antrópicas, realça os espaços urbanos como aqueles onde essas modificações são mais evidentes. Na sequência da discussão que enceta sobre cidades inteligentes, baseada num conjunto relevante de autores de referência internacional, debruça-se sobre a pertinência dos indicadores ambientais para a gestão urbana e critérios para a sua definição. Partindo do pressuposto de que a definição de um conjunto de indicadores deve ser "entendidos como mecanismos de observação, mensuração,

análise e gestão", apresenta, então os indicadores ambientais, considerando, igualmente que "esses indicadores formam um sistema integrado e dinâmico, os quais interagem, de modo permanente, no tempo e no espaço". Os indicadores propostos são acompanhados por parâmetros mínimos necessários para cada indicador, os quais surgem em consonância com os instrumentos legais existentes e potencialmente articuláveis no sentido de uma monitorização urbana e gestão sustentável das cidades.

O capítulo quarto debruça-se sobre o desenho das cidades e as condições de conforto térmico, especificamente no caso da cidade de Brasília. Da autoria de Marta Adriana Bustos Romero, o texto analisa a importância das formas urbanas para a sustentabilidade das cidades, explorando como caso de estudo a capital brasileira, o espaço idealizado por Lúcio Costa, identificando as desvirtuações implementadas ao desenho/projeto inicial de Brasília e as suas consequências, nomeadamente ao nível das "alterações microclimáticas provocadas pela redução da umidade relativa no meio urbano, na acentuação da amplitude térmica diária e no desconforto térmico urbano". Discutindo diversos aspetos relacionados com o conforto térmico urbano, nomeadamente as ilhas de calor urbanas, aponta as principais intervenções contrárias ao projeto original como as responsáveis por criar "obstáculos ao resfriamento urbano" e criando barreiras aos fluxos do vento. Em jeito de conclusão, elenca um conjunto de estratégias fundamentais para a obtenção de conforto bioclimático nas cidades, destacando os índices de conforto para espaços abertos como instrumentos para monitorizar esse conforto.

"O planeamento com a infraestrutura da paisagem cerratense: a contribuição da arborização", da autoria de Rubens do Amaral, Camila Sant'anna Gomes, Rômulo José da Costa Ribeiro, Maria do Carmo Lima Bezerra e Gustavo Macedo de Melo Baptista, propõe uma discussão em torno da importância da componente arbórea do bioma cerrado na organização da paisagem e sua urgente consideração nos processos de planeamento. Consequentemente, através da implementação de metodologias de sensoriamento remoto, nomeadamente a utilização de índices multiespectrais (CO₂flux e TWI), propõe-se a identificação de características da paisagem que servirão de base para a "implantação do verde urbano e reconfiguração da floresta urbana cerratense". A aplicação da metodologia proposta permite, por um lado, "levantar as variações de intensidade fotosintética da vegetação na paisagem e, consequentemente, dos fluxos de carbono a eles afetos" e, por outro, individualizar as "áreas topograficamente mais secas" e as "áreas topograficamente úmidas e muito úmidas", proporcionando a identificação das "áreas mais propícias para intervenções em arborização urbana".

O capítulo sexto, intitulado "Mobilidade como um Serviço: Indicações de Estratégias Interventivas no Hábito de Usar Automóvel Baseadas na Revisão da Literatura", da autoria de Zuleide Oliveira Feitosa, Pastor Willy Gonzales Taco, Diego Rosa Mota e Ingrid Luiza Neto, é dedicado à discussão das problemáticas da mobilidade, nomeadamente as relacionadas com a integração de diferentes

modos alternativos de transporte e a implementação de políticas de mobilidade sustentável. Partindo da discussão conceitual baseada numa ampla revisão bibliográfica, os autores abordam os conceitos de "hábito", no contexto das viagens e do transporte, e de mobilidade como um serviço (MaaS), ilustrando com um exaustivo conjunto de exemplos da sua implementação majoritariamente em países mais desenvolvidos europeus e norte-americanos. Relativamente à mobilidade como um serviço, os autores fazem uma síntese da sua implementação em países mais desenvolvidos, constatando "que os seis modos mais comumente observados são a bicicleta-compartilhada (bike-sharing), os automóveis compartilhados (car-sharing), o aluguel de automóveis, o transporte ferroviário, o transporte público urbano", prática ainda com reduzida implementação em países em desenvolvimento. Consequentemente, são apresentadas algumas estratégias para implementação das políticas de mobilidade, concluindo-se da importância de "implantar a concepção de MaaS oferecendo uma visão integradora do transporte alternativo, da qual o automóvel faça parte de modo compartilhado".

Ercilia Torres Steinke e Rafael Rodrigues da Franca trazem-nos os trabalho intitulado "Eventos pluviais extremos no Distrito Federal: desafios para adaptação às mudanças climáticas em busca de uma cidade sustentável", no qual centram a sua atenção na análise dos fenómenos extremos relacionados com a precipitação ocorridos no Distrito Federal no período de 1963 e 2019, confrontando com os registos de alagamentos, desencadeados na sequência destes mesmos fenómenos extremos. Da análise realizada aos extremos de precipitação, que incluiu a frequência absoluta, frequência relativa e tempo de retorno, importa realçar que, no período considerado, quando se examina os eventos de chuva forte e extremamente forte, não se verificam alterações significativas evidentes ao longo de todo o período, mantendo-se a ocorrência destes fenómenos relativamente constante. Contudo, identificaram-se episódios de precipitação extremamente forte, destacando-se o ocorrido a 15 de novembro de 1963, que totalizou 132,8 mm, e o de 21 de abril de 1992, com um total diário de 131 mm. Os autores referem que estes eventos de chuva extremamente forte apresentam uma ocorrência quase anual. Relativamente aos alagamentos, da cartografia das ocorrências verificadas entre 2000 e 2019 ressalta a íntima relação com as áreas urbanizadas, centrando-se o maior número de registos históricos nos bairros da Asa Norte e Asa Sul, localizados na Região Administrativa Brasília, no Plano Piloto. Da análise de diversos exemplos ilustrativos, os autores concluem que, em muitos casos, a falta de planeamento contribuiu muito mais para a ocorrência dos desastres do que propriamente o evento pluvial em si.

Fernando Rodrigues Lima, Osvaldo Moura Rezende e Rodrigo Rinaldi de Mattos apresentam-nos um trabalho intitulado "Drenagem urbana sustentável, geotecnologias e cidades inteligentes". Ao longo do texto os autores começam por enquadrar os conceitos de planeamento urbano e smart cities, focando a sua atenção na gestão das águas pluviais e a drenagem urbana, elucidando para

a necessidade de uma adequada gestão da dinâmica hidrológica em bacias hidrográficas urbanas, sob o risco de disrupções graves no sistema urbano, como verificámos no capítulo anterior, em Brasília. Direcionando a sua discussão para as Soluções Baseadas na Natureza, os autores abordam o conceito de Infraestruturas Verde e Azul (IVA), aplicada a diferentes escalas (escalas territorial e local), integrando-as no conceito mais amplo de "WSUD (Water Sensitive Urban Design), que envolve a integração de elementos naturais, como áreas verdes e zonas úmidas, nas áreas urbanas, para fornecer serviços ecossistêmicos". Neste contexto de procura de soluções sustentáveis para o espaço urbano, abordam a importância das geotecnologias, e especificamente os Sistemas de Informação Geográfica, aplicadas a diversos níveis, e com ênfase no "Manejo das Águas Pluviais e da Drenagem Urbana, especificamente, para a modelagem hidráulica computacional", ilustrando com o caso do Modelo de Células de Escoamento, desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O capítulo 9 debruça-se também sobre os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), numa perspetiva mais ampla e metodológica de integração destas tecnologias na cartografia e análise da qualidade ambiental urbana. Lindon Fonseca Matias, Abimael Cereda Júnior e Edilson de Souza Bias discutem os aspetos conceptuais e metodológicos que estão agregados à problemática da utilização dos SIG no planeamento e ordenamento do território, focado no espaço urbano e na avaliação da qualidade ambiental, alertando para os desafios inerentes aos dados utilizados (os indicadores ambientais, já amplamente tratados noutros capítulos desta obra) e sua qualidade, bem como os problemas relacionados com a sua mensuração, apresentando diversas formas e exemplos de como os SIG podem auxiliar nesta temática. Após o enquadramento teórico, os autores avançam com algumas contribuições para a implementação de SIG no apoio à gestão dos espaços urbanos, nomeadamente a definição da infraestrutura de gestão de dados e procedimentos para operacionalização da análise de dados de cariz ambiental e antrópico urbanos, concretizando na proposta de implementação de uma "Carta de Qualidade Ambiental Urbana", ferramenta que corresponde a "uma síntese cartográfica representativa dos diversos elementos socioambientais que caracterizam a área urbana".

Seguidamente Nilson Clementino Ferreira propõe-se analisar as "Aplicações e Ferramentas Geotecnológicas para a Gestão Ambiental Urbana". O autor centra, primeiramente, a sua atenção na problemática da aquisição de dados em áreas urbanas, realçando a importância das imagens de satélite, nomeadamente as acessíveis gratuitamente e com grande resolução espacial. Refere, também, o potencial da utilização de VANT's, cada vez mais acessíveis em preço e com crescente qualidade de produtos disponibilizados para trabalhar na gestão ambiental. Aborda igualmente a questão da utilização de geotecnologias para o armazenamento e partilha de dados geográficos, reforçando o valor de utilização de bases de dados espaciais e referindo os diversos protocolos web

(servidores de mapas) para a disponibilização ao público de dados geográficos. Termina fazendo referência aos softwares de análise espacial, nomeadamente os Sistemas de Informação Geográfica, nomeadamente as ofertas open source.

O último capítulo desta obra é da autoria de Edilson de Souza Bias, Linda Soraya Issmael e Abimael Cereda Júnior e intitula-se “A integração de dados geográficos para o planeamento urbano sustentável – o que usar e como usar?”. Ao longo deste capítulo os autores abordam a temática das Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE), a sua importância vital para uma gestão eficaz dos dados espaciais, fazendo um breve périplo pela evolução destas infraestruturas, com exemplos internacionais e nacionais e o suporte legal existente no Brasil. Os autores trazem também à discussão a necessidade de padronização da estrutura de dados espaciais, apresentando diversos modelos e especificações técnicas propostos neste âmbito, apresentando casos diversificados de aplicação em IDE's no Brasil, à escala nacional e municipal.

Focados em tópicos bastante pertinentes e atuais, os trabalhos reunidos neste livro constituem-se como um conjunto de contributos extremamente relevantes, quer do ponto de vista da discussão teórica em torno dos conceitos de sustentabilidade urbana, quer do ponto de vista da proposta de metodologias que operacionalizem a avaliação ambiental, através de indicadores adequados e parametrizados ou de ferramentas, nomeadamente de cariz geotecnológico, que permitam a sua implementação e articulação e integração de dados espaciais.

Estou certo de que esta obra constituirá um relevante contributo e auxílio para aqueles que, quer ao nível da investigação, quer ao nível da atuação no território, se debruçam sobre as problemáticas da gestão ambiental urbana ou estão colocados em posições que obrigam à tomada de decisões de planeamento dos espaços urbanos, apoiando a implementação de estratégias e medidas conducentes a um melhor ambiente urbano, promotor de melhor qualidade de vida e de um desenvolvimento realmente sustentável.

Guimarães, 29 de Junho de 2024

António Vieira

Departamento de Geografia – Universidade do Minho

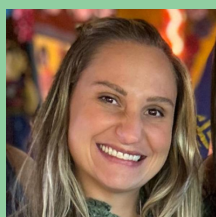
CAPÍTULO 1

Planejamento Urbano e a construção de Indicadores de Sustentabilidade – O que aprendemos ou o que temos que aprender.



Fernando Luiz Araújo Sobrinho

Licenciado em Geografia (1993) e Bacharel em Geografia (1995) pela Universidade Federal de Uberlândia, MG. Mestre em Arquitetura e Urbanismo na área de concentração de Planejamento Urbano pela Universidade de Brasília (1998). Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia (2008). Professor Associado III do Departamento de Geografia da UnB com ampla experiência nas seguintes temáticas: Geografia Urbana e Regional; Planejamento Urbano; Gestão do Uso do Solo; Rede Urbana; Turismo. Atuou como pesquisador em diversas instituições: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Ministério do Turismo, EMBRATUR, Banco Mundial, Ministério da Educação.



Leticia Del Grossi Michelotto

Bacharel em Ciências Econômicas (2007), Mestre em Geografia (2014) ambos pela Universidade Federal de Uberlândia e Doutora em Geografia pela Universidade de Brasília na área de concentração de Gestão Ambiental e Planejamento Territorial (2021). Além das atividades de pesquisa que transitam entre as temáticas do planejamento urbano e sustentabilidade, atua na área de consultoria de projetos de regularização ambiental e elaboração de relatórios socioeconômicos.

Planejamento Urbano e a construção de Indicadores de Sustentabilidade – O que aprendemos ou o que temos que aprender.

**Fernando Luiz Araújo Sobrinho
Leticia Del Grossi Michelotto**

1. Planejando com sustentabilidade: desafios e perspectivas para o planejamento urbano sustentável

Nas últimas décadas, duas grandes iniciativas das Organizações das Nações Unidas (ONU) avançaram na agenda técnica e político-institucional sobre o estudo das cidades, colocando a necessidade dos países revisarem conceitos e métodos para se pensar e produzir informações sobre o espaço urbano atual. A primeira iniciativa foi a resolução adotada em 25 de setembro de 2015 pela Assembleia Geral das Nações Unidas, que propôs a Agenda para o Desenvolvimento Sustentável para 2030, estabelecendo 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas. A segunda foi a III Conferência das Nações Unidas sobre Moradia e Desenvolvimento Urbano Sustentável (Habitat III), realizada em 20 de outubro de 2016. Na ocasião, 167 países se comprometeram a adotar a Nova Agenda Urbana (NAU) com o objetivo de orientar a urbanização pelos próximos vinte anos em escala mundial.

A ONU, através da NAU, assume uma interpretação ampliada do fenômeno urbano ao assinalar que, até 2050, a população urbana do mundo irá praticamente dobrar, o que a mantém como tendência transformadora neste início do Século XXI. Sobre o Objetivo 11 (ODS 11), dentre os 17 enumerados para o Desenvolvimento Sustentável, intitulado como "tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis até 2030", o Habitat III propôs uma nova agenda para orientar a urbanização sustentável nos próximos 20 anos. O tema das cidades mais sustentáveis tem sido tratado em todo o mundo, e no Brasil, em especial, há um latente movimento para formulação de iniciativas públicas e privadas em forma de programas, agendas e publicações que vão de encontro a essa temática (IBGE, 2017).

O desenvolvimento sustentável vem ocupando posição importante para os gestores urbanos no planejamento das cidades. Uma cidade, para ser sustentável sob o ponto de vista da sustentabilidade urbana, deve levar em conta as dimensões ambiental, econômica e social de forma integrada no seu metabolismo urbano, pressupondo o equilíbrio entre produção e consumo, respeitando o ambiente natural.

De fato, o moderno ciclo metabólico urbano¹ impulsiona a mudança ambiental em escala local-global, afetando o uso e a cobertura da terra, a biodiversidade, os hidrossistemas, os ciclos biogeoquímicos e o clima (Grimm et al., 2008).

Muitas dessas consequências ambientais levam a novos problemas de grande escala que afetam a atividade econômica e a saúde pública. A densidade populacional aumenta, as disparidades socioeconômicas podem ser exacerbadas e problemas de infraestrutura podem surgir (Kötter; Friesecke, 2011). Para evitar tal, os pesquisadores enfatizam o valor da compreensão do metabolismo urbano eficiente no contexto do planejamento urbano sustentável (Chrysoulakis, 2013).

À luz dessas questões e, pelo fato de que o uso residencial continuará a desempenhar um papel importante no planejamento urbano, o manejo dessa expansão se torna cada vez essencial para garantir que os impactos negativos possam ser minimizados e que a urbanização possa ocorrer de maneira sustentável sem comprometer a qualidade de vida da população e o meio ambiente.

Porém, como atingir tais objetivos? Quais são os quesitos para haver sustentabilidade no desenvolvimento urbano? Quais são os parâmetros, como identificá-los e, principalmente, como mensurá-los para que seja possível ter a noção exata dos resultados obtidos com os procedimentos implantados?

Para esclarecer tais questões, discutiremos ao longo deste texto as distintas teorias do planejamento urbano, o conceito de cidade dentro da perspectiva geográfica e do desenvolvimento sustentável e, por fim, os instrumentos utilizados para mensurar a sustentabilidade do ambiente urbano.

Os tipos de uso do solo urbano podem, principalmente, ser divididos em: comercial, residencial e industrial. Com o avanço da urbanização, a competição pelo uso do solo urbano desloca o uso residencial e industrial dos centros urbanos para os subúrbios e franjas urbanas. Embora isso seja crucial para o processo de desenvolvimento e criação de um Estado moderno, argumenta-se que o crescimento urbano, especialmente a expansão residencial, está na linha de frente dos danos ambientais devido ao esgotamento dos recursos naturais para acomodar o desenvolvimento (Karol; Brunner, 2009).

Reconhece-se, portanto, a importância do planejamento urbano como ferramenta de coordenação dessa expansão, pois foi justamente concebido para regular as atividades de uso e ocupação do solo, e assegurar a provisão adequada de infraestrutura e das instalações necessárias para sustentar a população. Tal ferramenta orienta essas atividades através do planejamento espacial, considerado por especialistas em ambiente construído, especialmente os planejadores, como uma chave para alcançar a sustentabilidade no nível local (OMS, 1999).

¹ O metabolismo urbano pode ser percebido como o processo econômico ou de produção que leva os fluxos de insumos (materiais, produtos, energia, trabalho) aos fluxos de produção (produtos, serviços). Um fluxo constante de produção requer fluxos constantes de entrada e manutenção do metabolismo urbano. A saída constitui principalmente aquilo que é consumido pelos cidadãos, enquanto uma parte é usada para a manutenção do processo de produção (Hartwick, 1994).

Dessa forma, os planejadores estão na posição ideal para atender às necessidades de desenvolvimento e melhoria dos componentes sociais, ecológicos, espaciais e econômicos para um planejamento futuro sustentável.

Com a evolução do planejamento urbano, várias abordagens de planejamento têm sido defendidas, desde o planejamento racional (de cima para baixo) até o planejamento participativo e colaborativo. A evolução dessas diferentes abordagens, ao longo do tempo, ocorreu devido à conscientização de que o planejamento urbano precisa tomar a melhor decisão possível com os recursos disponíveis (UN-Habitat, 2010), incluindo aí ferramentas para alcançar o desenvolvimento sustentável.

Para ser aplicado de maneira mais eficaz, o planejamento urbano pautado em aspectos do desenvolvimento sustentável deve se basear e se situar em relação às teorias tradicionais do planejamento. Em outras palavras, a sabedoria e o conhecimento tradicional e como comunidades humanas se organizaram devem ser aspectos essenciais na construção do planejamento urbano sustentável (Weeler, Beatley, 2004).

As seções seguintes explicam algumas teorias principais que são comumente aplicadas nos processos de planejamento e desenvolvimento urbano em relação (mas não limitado) ao planejamento espacial: teoria do planejamento racional, o conceito de desenvolvimento baseado em eventos, e a abordagem ecossistêmica.

1.1 Abordagem do planejamento racional

O planejamento urbano voltado para a autoridade pública dos anos 1950 é baseado no planejamento racional, uma das principais tradições da teoria do planejamento. Refere-se a um conjunto de processos de planejamento para selecionar e implementar o melhor plano possível a partir de diversas alternativas. Esse conceito, que foi criado por Edward Benfield (1955), estabelece um processo de planejamento formal, composto por várias etapas ou cursos de ação. Segundo Schonwandt (2008), o modelo de Benfield apresenta quatro etapas essenciais: (a) analisar a situação, (b) estabelecer metas, (c) formular possíveis cursos de ações, e (d) comparar e avaliar as consequências das ações. O modelo racional representa o que os planejadores acreditam ser racional ou planejar com razão.

Segundo Hoch (2007), a racionalidade refere-se a como usamos as razões para guiar as escolhas. Além disso, ele argumenta que as pessoas não apoiariam planos sem que houvesse racionalidade, porque tal razão justifica o conteúdo dos planos e oferece conselhos racionais sobre o que fazer para o futuro.

Lawrence (2000) explica que o conceito de planejamento racional tem sido central para a evolução do planejamento urbano moderno e sua aplicação resultou no desenvolvimento dos atuais Master Plans. Esse conceito oferece uma progressão na definição de metas e previsão de impactos e da seleção de alternativas que melhor atinjam as metas públicas de implementação, para então rever

todo o processo (Lawrence, 2000; Berke et al., 2006). Utilizando os mesmos princípios básicos, vários autores designaram essas etapas de maneiras diferentes, por vezes refinando-as com maior precisão (Schonwandt, 2008). Berke et al. (2006), por exemplo, discutem o modelo tradicional de planejamento racional como um processo de oito etapas: identificar problemas; formular objetivos; coletar e analisar dados; revisar e determinar objetivos; avaliar propostas alternativas; selecionar a melhor proposta; implementar a proposta; e, por fim, monitorar resultados (Figura 1).

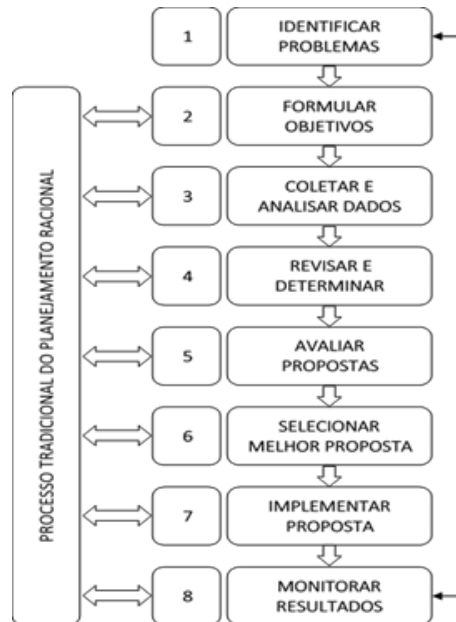


Figura 1 - Processo Tradicional do Planejamento Racional. Yigitcanlar, Teriman, 2013.

Desde a sua criação na década de 1950, o modelo tradicional de planejamento racional tem sido o paradigma de planejamento dominante (Lawrence, 2000; Schonwandt, 2008). Os autores também alegaram que, ao longo do tempo, a aplicação e definição do modelo não se limitou ao planejamento físico, mas também incorporou políticas sociais e econômicas, bem como políticas públicas, políticas e o planejamento corporativo. Ele fornece então, conexão e relações sistemáticas e consistentes entre cada etapa do processo, utilizando lógica e evidência na análise de questões e propostas de planejamento, bem como uma maneira comum de antecipar o futuro por meio de sua revisão contínua ao longo do processo (Lawrence, 2000; Berke et al., 2006).

Os proponentes do planejamento racional também apontam outras características desse modelo, proporcionando um ambiente controlável e possibilitando a implementação do processo final de planejamento. Uma característica que se destaca, especialmente entre os profissionais, é que o papel dos planejadores como consultores especialistas é bem definido (Lawrence, 2000). Devido a esses aspectos práticos, o racionalismo é aplicado na maioria dos planos gerais e setoriais, em que leva em consideração os cursos de ação descritivos que devem ser tomados durante o processo e permite a inclusão de várias instalações e requisitos de terra para acomodar mudanças ou variáveis de previsão, incluindo

população, economia, condições de recursos naturais e necessidades de habitação (Berke, et al., 2006).

Críticos ao modelo de planejamento racional, no entanto, listaram uma série de oposições. Wachs (2001), por exemplo, argumentou que considerar somente a opinião de especialistas na proposição de planos alternativos poderá gerar oposição pública, pois esses planos podem não ser compatíveis com preocupações e demandas dessa. Além disso, Lawrence (2000) afirma que o racionalismo é enfraquecido quando implementado, por negligenciar o papel central do diálogo no planejamento e não integrar questões substantivas, como as necessidades sociais e ambientais no processo de design. Ele acrescenta que o modelo tende a superestimar a capacidade de prever e controlar o ambiente, já que se baseia em projeções numéricas e não substantivas sobre o futuro (Lawrence, 2000; Berke, et al., 2006).

Apesar dessas críticas, os conceitos de planejamento racional ainda prevalecem, especialmente na prática de planejamento. Em consideração às vantagens e desvantagens do modelo, entende-se que alguma forma de contribuição das partes interessadas deve ser incorporada ao modelo, para criar uma forma publicamente aceitável do processo de desenvolvimento urbano.

1.2 Teoria Neomarxista do planejamento

Durante os anos 1960, uma forte corrente teórica crítica ao modelo de planejamento racional emergiu. Escritores como os geógrafos David Harvey, Doreen Massey, sociólogos como Henry Lefebvre e Manuel Castells, chamaram atenção para o fato de que os teóricos do planejamento tradicional racional haviam dado pouca atenção à dinâmica do poder dentro da cidade. O resultado, como argumentou Harvey (1983; 1993), foi que as questões de equidade não eram abordadas no planejamento, de fato, que o planejamento muitas vezes se aliava às forças econômicas ou políticas promovendo o aumento da desigualdade.

Considerando que o processo de urbanização, influenciado pelo modo de produção capitalista, imprime novas formas espaciais urbanas, e sob a perspectiva da instância política, Castells (1983) destaca, em especial, o planejamento urbano como a emergência de um campo teórico para a política urbana e seus instrumentos de estudo.

1.3 Abordagem de desenvolvimento baseada em eventos

Clarke (1995) argumenta que a abordagem tradicional do planejamento racional tem sido frequentemente ineficaz porque coloca muita ênfase na elaboração e não na implementação de projetos. Na tentativa de destacar a importância da implementação, Healey (1997) identificou quatro diferentes tipos de modelo para representar o processo geral do planejamento: o modelo de equilíbrio das economias neoclássicas; o modelo de sequência de eventos a partir de uma perspectiva de gestão patrimonial; o modelo de agência a partir de uma perspectiva

institucional; e o modelo de estrutura fundamentado na economia política urbana.

No entanto, ao considerar o processo do uso e ocupação do solo, esses modelos carecem de foco específico na implementação relacionada ao planejamento urbano. Gore e Nicholson (1991) indicaram que a natureza da ocupação urbana é muito complexa e nenhum modelo único pode representar inteiramente tal processo. Não obstante, um modelo interessante que descreve a relação entre o processo de planejamento e desenvolvimento seria um modelo de desenvolvimento baseado em eventos (Adams, 1994).

Barrett et al. (1978) desenvolvem uma abordagem baseada em eventos para o processo de planejamento que pode ser dividida em quatro fases distintas: avaliação, preparação, implementação e descarte. De acordo com Adams (1994), um dos melhores modelos baseados em eventos utiliza o conceito de pipeline de planejamento. Esse modelo concentra a multiplicidade do processo de planejamento em três grandes fases: (1) pressões de desenvolvimento; (2) viabilidade de desenvolvimento; e, finalmente, (3) implementação. Na prática, o modelo funciona como uma espiral, produzindo um novo padrão de uso da terra no final de cada ciclo, destacando, portanto, a natureza dinâmica do processo de desenvolvimento do planejamento.

As pressões e perspectivas iniciais de desenvolvimento constituem parte do estágio de planejamento. Na verdade, o processo de implementação começa no final da seção de viabilidade, envolvendo a avaliação das condições físicas e de mercado, e prossegue com procedimentos legais e administrativos antes da construção no solo. No caso de empreendimentos residenciais, a construção pode ser realizada pelos próprios desenvolvedores; os desenvolvedores comerciais, entretanto, mais comumente transferem os empregos para os empreiteiros da construção civil, sob a supervisão de uma equipe de profissionais que inclui, entre outros, arquitetos, engenheiros e auditores de qualidade (Adams, 1994). Após a conclusão da fase de construção, o projeto passa para as etapas finais de entrega e para os compradores, concluindo o ciclo do processo de implementação.

Considerando a atual preocupação com aspectos de sustentabilidade, especialmente em países desenvolvidos, o planejamento urbano sustentável se tornou uma grande influência no planejamento físico do ambiente construído e deve ser examinado mais de perto.

1.4. Abordagem ecossistêmica

Tradicionalmente, o planejamento espacial sempre foi realizado com intuito de satisfazer anseios econômicos e sociais. Observa-se pouco a incorporação de um futuro urbano sustentável a esse processo. Argumenta-se, portanto, que o processo de planejamento não tem fornecido instrumentos satisfatórios de proteção ao meio ambiente, especialmente no que tange os efeitos ambientais negativos cumulativos do desenvolvimento e expansão das áreas urbanas (Neufeld, Cockfield,

Fox; Whitelaw, 1994).

As tentativas de incluir um planejamento com princípios ecológicos e design verde ocorrem desde a década de 1960, nos trabalhos de Ian McHarg (1968), *Design with Nature* e *The Living Landscape*, de Frederick Steiner (1991). Além disso, Arendt (2004) também introduziu os princípios básicos do projeto de vizinhança verde no planejamento e ordenamento local. No entanto, Berke et al. (2006, p. 393) argumentam que esses ideais de comunidades verdes do início do século XX não se enraizaram na prática contemporânea de planejamento. Ainda, segundo o autor, embora o crescente consenso ambiental tenha apontado para os efeitos positivos da incorporação da dimensão verde à forma urbana sustentável, os esforços para integrar a dimensão ambiental na construção de assentamentos humanos estão longe de ser efetivos.

Não obstante, o impulso para um futuro urbano sustentável também deve considerar o ecossistema do qual dependemos. A importância de um ecossistema funcional, inclusive para a vida humana, é bem reconhecida dentro do conceito de sustentabilidade e integridade ecológica (Rainham; McDowel; Krewski, 2008). No entanto, há sempre a tendência de que tentativas de melhorar o bem-estar humano possam ameaçar essa integridade. Como destacado por McGranahan et al. (2001), a teoria da transição ambiental-urbana sugere que a expansão da urbanização traz uma série de desafios ambientais. Portanto, à medida que as cidades se expandem, esses desafios se tornam globais, de longo prazo, ameaçando os ecossistemas, comprometendo a sustentabilidade futura e a existência de um ecossistema mundial saudável (McGranahan et al., 2001).

A transição do planejamento ecológico, da natureza à comunidade, foi primeiramente reconhecida por Arthur Tansley, que, em 1935, propôs o conceito de ecossistema, incorporando componentes de todas as comunidades vegetais, o meio biótico e o ambiente físico (Vasishth, 2008; Pickett; Grove, 2009) (Figura 2). Em outras palavras, Tansley expôs que são as relações entre organismos e seu ambiente que fornecem a perspectiva para a ecologia (Yang; Lay, 2004).



Figura 2 - Visão Ecosistêmica de Tansley. Adaptado de Vasishth, 2008.

Odum (1989) aprimorou o conceito de ecossistema para todo o ambiente, incluindo o sistema urbano, argumentando que o ambiente humano criado pelo homem recebe fluxos de energia e material a um ritmo mais rápido do que o ambiente natural. Lyle (1985) tornou o conceito de Odum mais operacional, no sentido de planejamento, introduzindo a ideia de que o avanço do ecossistema humano compromete a natureza e está continuamente substituindo o ecossistema eficiente por um sistema ineficiente, ameaçando nossa fonte de sustento. Ele apresentou o que chamou de tecnologia regenerativa (Lyle, 1994), que substitui e altera os materiais e a energia que o homem usa, e integra arte e ciência para otimizar a capacidade de regeneração da natureza.

Uma abordagem ecossistêmica dos processos de planejamento do uso da terra fornece uma orientação sistemática sobre a inter-relação das atividades humanas e a saúde do ecossistema. Essa abordagem foca, no contexto ecológico, na tomada de decisão e na avaliação da relação homem-natureza. Em outras palavras, trata as metas ecológicas igualmente e simultaneamente às metas econômicas e sociais e, além disso, reconhece que há limites para o grau de estresse que os ecossistemas podem acomodar antes de serem irreversivelmente degradados ou destruídos (Neufeld et al., 1994). Um aspecto importante dessa abordagem é a estratégia de "manejo adaptativo": critérios de regras e gestão flexíveis o suficiente para lidar com eventos biofísicos e humanos relacionados à mudança, e mudanças de metas (Marcotullio, 2004).

Neufeld et al. (1994) explicam que a abordagem ecossistêmica inclui cinco componentes principais e interdependentes: (i) limites para propósitos de planejamento (uso de limites biofísicos nos quais a interação homem-natureza é avaliada), (ii) objetivos e metas (com foco na proteção e regeneração natural do ecossistema), (iii) avaliação dos efeitos ambientais cumulativos, (iv) coleta e gerenciamento de informações, e (v) monitoramento (realizações objetivas e eficácia das decisões de planejamento). A abordagem ecossistêmica fornece uma técnica promissora: ela usa os ecossistemas como unidades regionais de planejamento e integra questões biofísicas às questões sociais e econômicas. Além disso, um processo de avaliação de desenvolvimento mais eficiente (avaliação) pode ser realizado por meio da abordagem de planejamento de ecossistema, pois oferece melhor orientação inicial sobre a localização, o tipo e o tempo de desenvolvimento.

Neufeld et al. (1994) acreditam que a integração das considerações do ecossistema ao planejamento promoverá iniciativas de sustentabilidade urbana, pois evitará que as decisões de desenvolvimento comprometam o futuro do ecossistema e a qualidade de vida humana. Niemela (1999) enfatiza que o meio biótico precisa ser seriamente considerado no planejamento urbano para assegurar o desenvolvimento sustentável das áreas urbanas.

2. Como as cidades sustentáveis são criadas?

O conceito de cidade dentro da perspectiva geográfica deve, em primeiro

lugar, ser entendido como a manifestação da capacidade do homem para transformar o ambiente. A cidade representa uma das capacidades máximas que o homem tem para transformar o ambiente segundo as suas necessidades, pois a cidade é resultado de intencionalidades dos homens, organizados em sociedade e que transformam o espaço segundo as características próprias de seu tempo. A primeira análise quando estudamos a cidade é que essa é resultado de uma relação entre homem-técnica-natureza, ou seja, o homem transformando a natureza a partir dos seus instrumentos técnicos (Santos, 1996).

Milton Santos (1996) propõe o entendimento da cidade a partir da ideia de forma e função, sendo que a cidade um híbrido entre elas. As formas são representadas pela materialidade da cidade, sua estrutura concreta, pelos seus objetos que são fixos no espaço, pelas casas, as ruas, as avenidas, os edifícios, ou seja, a forma e os objetos são representados por tudo aquilo que é matéria, que é concreto. Por outro lado, existe uma questão de funcionalidade dessa materialidade que compõe a cidade, uma concepção que liga o homem, a técnica e a natureza.

As funções representadas por esses objetos constituem o valor real que esse conjunto material representa em cada época histórica. A forma é a matéria e a função é o valor que a sociedade dá a essa matéria. Essa valoração da estrutura concreta dá vida ao espaço geográfico, sendo sempre um espaço atual, pelo valor que se dá às formas, ou seja, as funcionalidades que as formas exercem dentro da dinâmica urbana é sempre atual.

Então, a cidade também é composta por objetos técnicos, capazes de desempenhar funções técnicas para a cidade, que também podem ser encaradas como acúmulo de modos de produção anteriores, que são revalorizados ou refuncionalizados conforme a evolução temporal dos modos de produção desenvolvidos pela sociedade ou nela inseridos. Milton Santos também desenvolve a perspectiva de que o espaço é sempre herança, ou seja, o que é herdado na verdade é a matéria, a concretude, que é valorizada conforme os postulados sociais de um determinado tempo.

A partir dessa definição sob a perspectiva homem-técnica-natureza tem-se a base para conceituar cidades sustentáveis. No Brasil, o Estatuto da Cidade (2001) foi um primeiro passo para assegurar o direito às cidades sustentáveis, uma vez que a Lei nº. 10.257/01 envolve o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer para as presentes e futuras gerações.

Com a criação do Ministério das Cidades em 2003, instituiu-se o compromisso dos governos locais e agentes sociais de realizarem diagnósticos, definir os programas habitacionais, enfrentar os desafios dos problemas urbanos, ampliando investimentos não só no setor de habitação, mas abarcando interesses sociais. Outro avanço importante foi a aprovação da Lei nº. 11.124/05 que criou o Sistema e o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social SNHIS/ Fundo Nacional

de Habitação de Interesse Social (FNHIS), com o objetivo de integrar a atuação dos três níveis governamentais, descentralizando, mas de forma articulada, ações planejadas e fontes de financiamento que buscam otimizar investimentos voltadas tanto para habitação quanto para interesses sociais (Michelotto, 2014).

Recentemente, duas iniciativas da ONU avançaram na agenda técnica e político-institucional sobre o estudo das cidades, colocando a necessidade de os países revisarem conceitos e métodos para se pensar e produzir informações sobre o espaço urbano atual.

A primeira iniciativa foi a resolução adotada em 25 de setembro de 2015, pela Assembleia Geral das Nações Unidas, que propôs a Agenda para o Desenvolvimento Sustentável para 2030, estabelecendo 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas. Cada um dos 17 ODS implicou na produção de 230 indicadores que subsidiarão a ação das diferentes esferas de poder do Estado, assim como o acompanhamento e a participação da sociedade civil, no cumprimento das metas estabelecidas pela ONU.

Observa-se, no Quadro 1, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável segundo a Agenda para o Desenvolvimento Sustentável para 2030.

OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – 2030	
ODS - 1	Acabar com a pobreza em todas as suas formas em todos os lugares.
ODS - 2	Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição, promover a agricultura sustentável.
ODS - 3	Garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos em todas as idades.
ODS - 4	Garantir uma educação de qualidade inclusiva e equitativa e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
ODS - 5	Alcançar a igualdade de gênero e capacitar todas as mulheres e meninas.
ODS - 6	Garantir disponibilidade e gestão sustentável de água e saneamento para todos.
ODS - 7	Garantir o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos.
ODS - 8	Promover um crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente.
ODS - 9	Construir uma infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável e promover a inovação.
ODS - 10	Reduzir a desigualdade dentro e entre os países.
ODS - 11	Tornar cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.
ODS - 12	Garantir padrões sustentáveis de consumo e produção.
ODS - 13	Tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos.
ODS - 14	Conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
ODS - 15	Proteger, restaurar e promover o uso sustentável de ecossistemas terrestres, manejar florestas de forma sustentável, combater a desertificação e deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.
ODS - 16	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.
ODS - 17	Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a Parceria Global para o Desenvolvimento Sustentável.

Quadro 1 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável para 2030. Fonte: ONU (2016).

A segunda iniciativa foi a III Conferência das Nações Unidas sobre Moradia e Desenvolvimento Urbano Sustentável (Habitat III), realizada em 20 de outubro de 2016. Na ocasião, 167 países se comprometeram a adotar a Nova Agenda Urbana (NAU) com o objetivo de orientar a urbanização pelos próximos vinte anos em escala mundial. A ONU, através da NAU, assume uma interpretação ampliada do fenômeno urbano ao assinalar que, até 2050, a população urbana do mundo irá praticamente dobrar, o que a mantém como tendência transformadora neste início do Século XXI.

O Objetivo 11, dentre os 17 enumerados para o Desenvolvimento Sustentável, com a ideia de “tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis até 2030”, o Habitat III propôs uma nova agenda para orientar a urbanização sustentável nos próximos 20 anos. O tema das cidades sustentáveis tem estimulado em todo o mundo, e no Brasil em especial, a formulação de iniciativas públicas e privadas em forma de programas, agendas e publicações (IBGE, 2017).

O Quadro 2 esquematiza os indicadores do Objetivo 11 para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU) em 2016.

OBJETIVOS	INDICADORES
ODS 11.1 até 2030, garantir o acesso de todos à habitação adequada, segura e a preço acessível, e aos serviços básicos, bem como assegurar o melhoramento das favelas.	11.1.1 Proporção da população urbana que vive em favelas, assentamentos informais ou domicílios inadequados.
ODS 11.2 até 2030, proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos, melhorando a segurança rodoviária por meio da expansão dos transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos.	11.2.1 Proporção da população com acesso adequado ao transporte público por sexo, idade e pessoas com deficiência.
ODS 11.3 até 2030, aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e a capacidade de planejamento e a gestão participativa, integrada e sustentável dos assentamentos humanos, em todos os países.	11.3.1 Razão entre consumo da terra e crescimento populacional. 11.3.2 Proporção de cidades com participação direta da estrutura da sociedade civil no planejamento urbano e na gestão que opera regularmente e democraticamente.
ODS 11.4 fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo.	11.4.1 Despesas totais (públicas e privadas) per capita gastas na preservação, proteção e conservação de toda a herança cultural e natural, por tipo de herança (cultural, natural, mista e designação WHC), nível de governo (nacional, regional e local/municipal), tipo de despesa (operacional ou investimento) e tipo de financiamento privado (doações, organizações privadas sem fim lucrativo e patrocínio).
ODS 11.5 até 2030, reduzir significativamente o número de mortes e o número de pessoas afetadas por catástrofes e diminuir substancialmente as perdas econômicas diretas causadas por elas em relação ao produto interno bruto global, incluindo os desastres relacionados à água, com o foco em proteger os pobres e as pessoas em situação de vulnerabilidade.	11.5.1 Número de mortes, pessoas desaparecidas e pessoas afetadas por desastres por 100.000 habitantes. 11.5.2 Perda econômica direta em relação ao PIB global, incluindo danos a infraestruturas críticas e interrupção de serviços básicos.

ODS 11.6 até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros.	11.6.1 Proporção de resíduos sólidos urbanos coletados regularmente e com destino-final adequado em relação aos resíduos sólidos totais gerados por cidade. 1.6.2 Níveis médios anuais de material particulado fino.
ODS 11.7 até 2030, proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, em particular para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência.	11.7.1 Participação média no uso do espaço construído ao ar livre das cidades para uso público de todos, por sexo, idade e pessoas com deficiência. 11.7.2 Proporção de pessoas vítimas de assédio físico ou sexual, por sexo, idade, status de deficiência e local de ocorrência, nos últimos doze meses.
ODS 11. apoiar relações econômicas, sociais e ambientais positivas entre áreas urbanas, peri-urbanas e rurais, reforçando o planejamento nacional e regional de desenvolvimento.	11.A.1 Proporção da população das cidades que implementam planos de desenvolvimento urbano e regional integrando projeções populacionais e necessidades de recursos, por tamanho de cidade.
ODS 11.B até 2020, aumentar substancialmente o número de cidades e assentamentos humanos adotando e implementando políticas e planos integrados para a inclusão, a eficiência dos recursos, mitigação e adaptação à mudança do clima, a resiliência a desastres; e desenvolver e implementar, de acordo com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015 -2030, o gerenciamento holístico do risco de desastres em todos os níveis.	11.B.1 Proporção dos governos locais que adotam e implementam estratégias locais de redução dos riscos a desastres alinhadas com o Quadro Sendai para redução dos riscos de desastres 2015 -2030. 11.B.2 Número de países com estratégias nacionais e locais para redução do risco a desastres.
ODS 11.C apoiar os países menos desenvolvidos, inclusive por meio de assistência técnica e financeira, para construções sustentáveis e resilientes, utilizando materiais locais.	11.C.1 Proporção do apoio financeiro para os países menos desenvolvidos que é alocada para a construção e reforma de construções sustentáveis, resilientes e eficientes em termos de recursos, utilizando materiais locais.

Quadro 2 – Objetivos e indicadores para o Desenvolvimento Sustentável – ODS 11. Fonte: Adaptação do autor (ONU, 2016).

Nesse contexto mundial sobre o tema Cidades Sustentável, o IBGE publicou em 2017 o Caderno Temático do Atlas Nacional Digital, intitulado “Cidades Sustentáveis”, reforçando a discussão em torno de conceitos, métodos e informações que darão suporte a essa temática no Século XXI, e a necessidade de instrumentalizar a sociedade e o poder público com informações capazes de incorporar as múltiplas dimensões que compõem a noção da sustentabilidade urbana.

No entanto, o que são cidades sustentáveis? Como medir a sustentabilidade de uma cidade?

As organizações multilaterais têm abordado o tema da cidade sustentável desde a década de 1980, ganhando destaque na Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, na qual foi aprovado o documento da Agenda 21, propondo diretrizes de sustentabilidade para a gestão do território.

Em 2006, o Banco Mundial publicou indicadores sobre 142 cidades de 134 países em um estudo denominado “Cidades em um mundo globalizado”. O Programa das Nações Unidas Habitat também tem estudado indicadores urbanos desde a década de 1990 e, hoje, acompanha o cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

A Organização das Nações Unidas implementou como uma recomendação do Capítulo 38 da Agenda 21, em 1992, a Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS), que teve como objetivo acompanhar e cooperar na elaboração e implementação da Agenda 21 dos diversos países, sendo substituída em 2013 pelo Fórum Político de Alto Nível sobre Desenvolvimento Sustentável. A Organização PanAmericana de Saúde (OPAS) desenvolve o projeto Municípios e comunidades saudáveis desde 1992 e coleta 32 indicadores de saúde em várias cidades.

Considerando esse arcabouço institucional, observa-se que uma cidade para ser sustentável deve prover qualidade de vida para seus moradores, gestão e manejo de resíduos urbanos, gestão eficiente da mobilidade urbana, energia limpa, preservação ambiental, arborização urbana, saneamento básico, geração de emprego, bons indicadores econômicos, acesso à educação e saúde, segurança, qualidade do ar, planejamento urbano e instrumentos institucionais e políticos capazes de gerir esses aspectos.

Observa-se, na Figura 3, a cidade de Singapura que, segundo recente pesquisa da Consultoria Arcadis e o Centro de Economia e Business Research do Reino Unido (2017), ocupou a 2ª posição dentre as 100 grandes cidades analisadas. Os critérios mais marcantes foram a arborização urbana e os planos de mobilidade urbana em favor do transporte público.



Figura 3 – Singapura: Cidade de Singapura, 2017. Fonte: Michelotto, 2017.

Segundo Martinelli (2004), pode-se dizer que não há cidades sustentáveis, mas há busca por sustentabilidade. É necessário pensar as cidades sustentáveis como um constante processo de implementação de critérios de sustentabilidade que exigem o reconhecimento de uma série de valores, atitudes e princípios tanto nas esferas públicas como privadas e individuais da vida urbana.

Por isso, a discussão sobre sustentabilidade urbana é importante, visto que se relaciona com o processo de urbanização verificado principalmente nos países em desenvolvimento, o combate à pobreza e à exclusão social, sendo que os problemas ambientais também representam, ou ao menos indicam, conflitos sociais e têm origem no processo de desenvolvimento econômico desigual (Boareto, 2008).

Na seção seguinte, abordaremos aspectos relacionados aos instrumentos utilizados para mensurar a sustentabilidade no ambiente urbano.

3. Indicadores de sustentabilidade urbana: conceitos e reflexões

A partir da década de 1990, vários têm sido os esforços de órgãos e agências internacionais para desenvolver metodologias adequadas capazes de mensurar algo tão complexo quanto os aspectos atrelados ao desenvolvimento sustentável. Todas as organizações envolvidas na construção de indicadores corroboram da ideia de que esses poderiam ser ferramentas importantes para a formulação de políticas (prospectivas) e para a avaliação da implementação de políticas (indicadores retrospectivos), mas enfatizam também suas limitações (World Resources Institute, 1994).

No ano de 1996, o Relatório Europeu da Comissão das Cidades Sustentáveis (CE, 1996) já reconhecia a necessidade de se criar instrumentos para quantificar o desempenho da sustentabilidade através da construção de indicadores. Considerando a sustentabilidade parte integrante de política e de planejamento urbano, necessitava-se, portanto, de ferramentas adequadas de mensuração.

Os indicadores de sustentabilidade urbana não poderiam incluir apenas variáveis ambientais, pois o desempenho ambiental não seria o único fator que determinaria a sustentabilidade de uma cidade. As questões socioeconômicas também desempenhavam um papel importante, incluindo aí os indicadores socioeconômicos. Essa foi a primeira conclusão do Fórum Nacional de Dublin sobre Indicadores (UCD, 1996) e da Conferência de Rennes, onde mais de 40 representantes de redes municipais e organizações internacionais se uniram a 200 pesquisadores e tomadores de decisão para discutir o uso de indicadores em áreas urbanas (OCDE, 1997).

O Banco Mundial define indicadores como medidas de desempenho que agregam informações de forma utilizável, destacando, no entanto, as questões complexas como variações intertemporais e incertezas. No âmbito das cidades eles são, portanto, ferramentas que permitem que planejadores municipais,

gestores municipais e formuladores de políticas avaliem o impacto socioeconômico e ambiental de, por exemplo, projetos urbanos atuais, infraestruturas, políticas, sistemas de disposição de resíduos, poluição e acesso a serviços por cidadãos.

Koichiro e Christodoulou (2011), em seu estudo sobre sustentabilidade urbana, discutem os requisitos teóricos e práticos para a criação do Índice de Sustentabilidade da Cidade (CSI), através da análise de índices como Pegada Ecológica, Índice de Sustentabilidade Ambiental, Índice de Bem estar, Produto Interno Bruto (PIB), Índice de Bem-estar Econômico, Vulnerabilidade Ambiental, Políticas Ambientais, Índice de Planeta Vivo, Produto Interno Bruto Ambiental e, quando aplicáveis, índices locais.

Objetivo do trabalho de Koichiro e Christodoulou (2011) foi de criar um índice comum que permitisse o acesso e a comparação da sustentabilidade urbana ao redor do mundo, com intuito de compreender o impacto da urbanização no meio ambiente e na qualidade de vida quando comparados com a sua contribuição na economia. No futuro, o CSI servirá como guia para propor e implementar padrões comuns de sustentabilidade urbana.

Os Princípios de Bellagio, elaborado por um grupo de estudiosos sobre o desenvolvimento sustentável, apresentam diretrizes para selecionar e construir indicadores de sustentabilidade (IISD, 2006). O ponto de partida desses princípios para análise da sustentabilidade é a pesquisa bibliográfica, que auxilia na percepção da relação sociedade-natureza. Nesse contexto, o capítulo 40 da Agenda 21 Global traz a necessidade da construção de indicadores que possam ser aplicados à realidade de cada país.

Ainda assim, como desenvolver indicadores de sustentabilidade urbana? Martins e Candido (2011), ao tratarem dos desafios presentes na mensuração da sustentabilidade urbana, propõem uma metodologia que abrange o processo de escolha do indicador, a sua operacionalização e análise final, com o intuito de gerar um conjunto de informações sobre os aspectos sustentáveis e insustentáveis presentes no espaço urbano. Para os autores, os indicadores de sustentabilidade urbana são cruciais na elaboração e redefinição das políticas públicas urbanas "como forma de traçar novos rumos das cidades embasadas em práticas sustentáveis" (Martins; Candido, 2011, p. 11).

Para que haja conformidade na escolha desses indicadores, os autores propõem que sejam superados os seguintes desafios: definir um número adequado de indicadores; definir critérios para seleção dos indicadores; definir as dimensões da sustentabilidade urbana que englobe os principais problemas urbanos e as prioridades locais; incorporar a participação dos atores locais e institucionais no processo de seleção dos indicadores; selecionar indicadores que sirvam de orientação para as políticas públicas urbanas; retratar a problemática urbana local; permitir comparação em termos temporal; e, por fim, permitir comparação em termos espaciais.

Com o objetivo de traçar um panorama do ODS no Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), publicou em 2015 a 6ª edição dos Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, que reúne 63 indicadores Baseados em 58 indicadores da CSD (2005); o estudo abrange quatro dimensões: ambiental, econômica, social e institucional. Entre as fontes de pesquisa utilizadas para a construção dos indicadores estão a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), Produto Interno Bruto (PIB), Pesquisa da Produção Agrícola Municipal (PAM) e Projeção da População do Brasil, todos do IBGE. O estudo também utiliza dados de ministérios, secretarias estaduais e municipais, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), DataSUS, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Unesco e outras instituições.

Bellen (2005) fez uma análise comparativa das metodologias de elaboração de indicadores de sustentabilidade. O autor foi além do puro embasamento teórico da descrição das diferentes metodologias existentes para avaliação de sustentabilidade, partindo da opinião dos maiores especialistas do mundo e, depois, fazendo uma análise comparativa dos três principais sistemas internacionais de indicadores de sustentabilidade apontados por esses especialistas: Ecological footprint method, Dashboard of sustainability e Barometer of sustainability. O autor comparou esses três sistemas em diferentes categorias: escopo (ecológico, social, econômico e institucional), esfera (global, nacional, regional, organizacional e individual), dados utilizados na elaboração dos indicadores, participação de atores na elaboração e definição dos indicadores, e a interface, ou seja, a capacidade dos vários tipos de usuários interpretarem os indicadores para avaliar a sustentabilidade.

Consideramos, também, importante do ponto de vista teórico analisar o relatório *Our Built and Natural Environment – Ambiente Natural e Construído* –, publicado em 2001 pela Environmental Protection Agency (EPA) – Agência de Proteção Ambiental – dos EUA, cujo objetivo foi de introduzir um novo padrão de planejamento urbano e rural baseado nos princípios do Smart Growth, um conjunto de medidas de planejamento urbano e regional capaz de serem moldados e aplicados em nível local, a fim de promover um padrão de desenvolvimento social, ambiental e economicamente sustentável. O relatório traz opções de planejamento urbano nas áreas de habitação, mobilidade, recreação, serviços sociais, cultural, dentre outros.

A construção de um sistema eficiente de indicadores de sustentabilidade urbana vem sendo realizada em diversas cidades do Brasil e do mundo, em algumas a partir de gestões públicas e, em diversas outras, através de organizações do terceiro setor e da iniciativa privada. No caso do sistema de indicadores de sustentabilidade urbana, isso significa uma nova forma de governabilidade, uma mudança de paradigma que permitirá estruturar melhor os investimentos públicos.

O desafio para as autoridades urbanas é decidir qual ferramenta melhor atende às necessidades e objetivos de uma dada cidade, em particular, o que seria fácil

de implementar e o que vale o esforço financeiro e humano. Em alguns casos, uma seleção de diferentes ferramentas pode ser desejável para uma pequena cidade; em outros, uma cidade grande pode desejar aderir a um programa global, já bem estabelecido, de indicadores.

3.1 O quadro atual na concepção de indicadores de sustentabilidade urbana

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), os indicadores permitem a medição da mudança em um sistema:

Os indicadores são selecionados para fornecer informações sobre o funcionamento de um sistema específico, para uma finalidade específica - para apoiar a tomada de decisões e o gerenciamento. Um indicador quantifica e agrega dados que podem ser medidos e monitorados para determinar se a mudança está ocorrendo. Mas, para entender o processo de mudança, o indicador precisa ajudar os tomadores de decisão a entender por que a mudança está ocorrendo (FAO, 2002).

Atualmente, os formuladores de políticas e gestores municipais possuem acesso a uma grande variedade de metodologias de indicadores de sustentabilidade. Essas se diferem sobre temas, abordagens de mensuração, escalas e, sobretudo, sobre a seleção de indicadores. O comum entre essas metodologias é que praticamente todas se esforçam para promover o desenvolvimento urbano sustentável agregando informações ambientais e socioeconômicas e que são facilmente aplicáveis (Hiremath et al., 2013).

Ao reduzir os dados necessários para ilustrar a sustentabilidade urbana, mais fácil será a comunicação dessas informações para diversos públicos (Keirstead, 2007). Quanto mais confiança e compreensão dos indicadores por parte dos tomadores de decisão, melhor será o resultado para a formulação de políticas públicas.

Ocorre que há um grande número e diversidade de conjuntos de indicadores, no entanto (Zavadskas et al., 2007), com diferenças significativas nas suas metodologias e estruturas conceituais (Hammond et al., 1995; Ramos, Caeiro, de Melo, 2004; Moreno pires, Fidélis; Ramos, 2014).

Como, então, escolher entre tantos conjuntos de indicadores? Shen et al. (2011) propõem que é necessário compreender os vários objetivos para os quais os indicadores podem ser usados. Fundamentalmente, eles podem ser aplicados de três maneiras: como ferramentas explicativas, ferramentas piloto ou ferramentas de avaliação de desempenho.

O Prêmio Capital Verde da Europa (EGCA; Berrini; Bono, 2011) é um exemplo de uma ferramenta explicativa, em que um conjunto bem definido de indicadores foi coletado para avaliar o estado atual da dimensão ambiental da sustentabilidade na área urbana de um município ou região, destacando o que tem sido feito para promover, ali, a sustentabilidade. Nesse caso, essa ferramenta também se enquadra na categoria de ferramenta-piloto, pois servirá para auxiliar na formulação de políticas públicas. Outros exemplos de ferramentas piloto incluem o *City Blueprints*

(Van Leeuwen et al., 2012) e *Urban Sustainability Indicators* (Mega e Pedersen, 1998) que serão discutidos na próxima seção.

A ferramenta de avaliação de desempenho é a categoria mais numerosa e amplamente considerada mais importante para os indicadores de sustentabilidade urbana (Hiremath et al., 2013). São muitos os exemplos, dentre os mais notáveis o Global City Indicators Program (2007) e o Quadro Referência para Cidades Sustentáveis, um kit de ferramentas baseado nas características das cidades.

O modelo pressão-resposta-estado é uma estrutura extensamente aceita para a compilação de indicadores de desempenho de sustentabilidade, adotado pela OCDE e referido pelo Banco Mundial. O modelo liga as causas das mudanças ambientais (pressão) aos seus efeitos (estado) e, finalmente, aos projetos, ações e políticas (respostas) desenhados e implementados para lidar com essas mudanças (Figura 4).

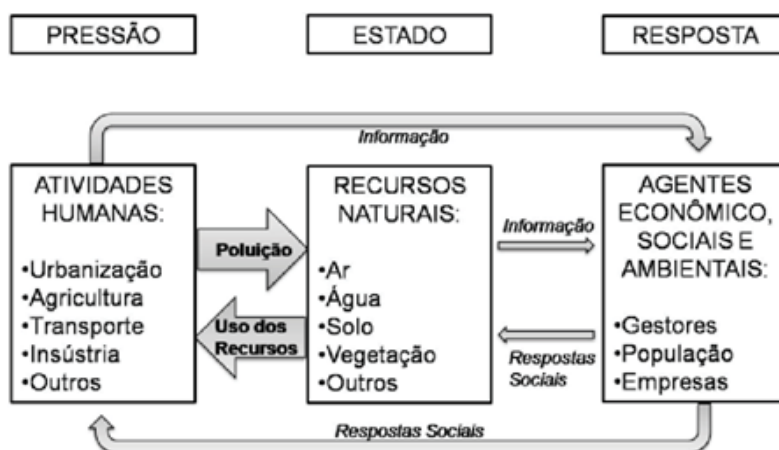


Figura 4 – Modelo Pressão-Estado-Resposta. Fonte: OCDE, 1993.

Os indicadores devem nos dizer em que áreas a cidade está se saindo melhor, de acordo com suas metas específicas. Um único índice de sustentabilidade deve nos dizer se a cidade está se tornando mais sustentável ou não. A passagem dos indicadores temáticos para um índice de desempenho da política de sustentabilidade para as cidades é uma tarefa complexa, uma vez que os indicadores devem ser ponderados pela sua contribuição para os níveis de sustentabilidade, e todos os níveis anteriores de agregação devem ser levados em conta. Um esforço especial deve ser feito para evitar a contagem múltipla de pressões de sustentabilidade individuais, levadas em conta na composição dos indicadores temáticos.

Alguns pesquisadores observaram que os sistemas de indicadores da União Europeia (UE) dão pouca ênfase aos aspectos sociais e de governança do desenvolvimento sustentável, enquanto outros dizem que as considerações sociais e econômicas estão sub-representadas (Lynch et al., 2011). Quase todos os conjuntos de indicadores e índices dão ênfase ao aspecto ambiental da sustentabilidade, às vezes em detrimento das outras categorias (Shen et al., 2011).

Os problemas fundamentais enfrentados ao escolher um conjunto de

indicadores incluem padronização e disponibilidade de dados. Como a avaliação de desempenho é um dos principais objetivos do uso de indicadores de sustentabilidade, é importante poder comparar o desempenho entre áreas urbanas semelhantes, para que os conjuntos de indicadores possam ser validados e melhorados, esclarecendo questões políticas complexas e abstratas (Yigitcanlar; Lonnqvist, 2013).

A padronização também contribui para melhorar a colaboração e o compartilhamento de conhecimento entre os governos locais (Moreno Pires; Fidélis; Ramos, 2014).

Deve-se notar, no entanto, que a padronização de indicadores entre cidades continua sendo um problema, levantando a questão: o que precisamente constitui uma cidade? A resposta infelizmente está além do escopo desta discussão.

A disponibilidade de dados é outro aspecto importante a ser considerado na seleção de um sistema de indicadores. Essas estruturas são projetadas por uma série de grupos e indivíduos, como agências governamentais, organizações não-governamentais e universidades, para citar alguns (Sébastien; Bauler, 2013), com o resultado de que há pouca ou nenhuma consideração sobre quais dados estão prontamente disponíveis quando o conjunto de indicadores é proposto. O City Blueprints é um exemplo clássico: apesar de planejar explicitamente o conjunto de indicadores em torno dos dados disponíveis publicamente, houve dificuldade para obter os dados necessários para concluir a avaliação da sustentabilidade da água de Roterdã (Van Leeuwen et al., 2012). Moreno Pires et al. (2014) citam fontes de dados inadequadas ou indisponíveis como uma das falhas mais comuns dos sistemas de indicadores.

Seria talvez valioso neste momento, discutir quais aspectos dos sistemas de indicadores são desejáveis. Algo já amplamente aceito é que os conjuntos de indicadores precisam ser localmente relevantes – eles precisam trabalhar na escala (tamanho, estrutura física e estrutura organizacional) da cidade ou município (Camagni, 2005). O quadro de indicadores escolhido deve refletir a geografia e o contexto social da área urbana em questão (Moreno Pires, Fidélis, Ramos, 2014; Hiremath et al., 2013).

Outra observação importante é que indicadores com amplo apoio político foram mais bem-sucedidos do que aqueles propostos por instituições acadêmicas ou agências não-governamentais (Hiremath et al., 2013). Logicamente, isso ocorre porque os indicadores são selecionados para informar as políticas públicas. O argumento é que os formuladores de políticas, juntamente com aqueles que são afetados por essas políticas, estão na melhor posição para prever o sucesso potencial e a sustentabilidade de novas regulamentações e intervenções.

Mega e Pedersen (1998) sugeriram que os indicadores devem ser claros, simples, cientificamente sólidos e reprodutíveis. Cash et al. (2003) definem três

critérios para a usabilidade de qualquer indicador: saliência, credibilidade e legitimidade. Zavadskas et al. (2007), por sua vez, sugerem que um conjunto de indicadores deve ser bem fundamentado, limitado em número, amplo na cobertura das metas da Agenda 21, obtido com uma relação custo-benefício razoável, usar dados publicados oficialmente e ser capaz de refletir todos os aspectos do desenvolvimento urbano. Finalmente, Hiremath et al. (2013) sugerem que os indicadores devem ser relevantes para a política, cientificamente fundamentados, prontamente implantáveis e úteis para fins de planejamento.

Embora a magnitude e importância dos indicadores de sustentabilidade tenha recebido muita atenção nos últimos anos, seu uso real na medição do desempenho da sustentabilidade urbana ainda está em um estágio inicial. Indicadores descritivos, ilustrando o status do ambiente e baseados em medidas físicas concretas reais, são mais fáceis de estabelecer e interpretar.

O relatório da Comissão Europeia das Cidades Sustentáveis (1996) reconheceu a necessidade de indicadores como instrumentos para quantificar o desempenho da sustentabilidade. Se a sustentabilidade é um objetivo político coerente, deve ser possível medir se estamos caminhando para ela.

Todas as organizações envolvidas no desenvolvimento de indicadores parecem concordar que a significância dos indicadores se estende além do que é obtido diretamente das observações e que elas devem ser claras, simples, cientificamente sólidas, verificáveis e reprodutíveis. Os indicadores urbanos não podem incluir apenas indicadores ambientais, pois o desempenho ambiental não é o único fator a alcançar a sustentabilidade de uma cidade.

As propriedades necessárias dos indicadores são: devem ser significativos, devem ajudar na comparação, avaliação e previsão, e devem ajudar a construir e harmonizar bancos de dados e a tomada de decisões em vários níveis para promover informação local, empoderamento e democracia. Devem também contribuir para tornar a cidade mais visível e transparente e, se possível, ter um papel simbólico, abrangendo todos os setores e bairros que contribuem para o processo coevolucionário de desenvolvimento sustentável.

Tal como acontece com todas as inovações, o desenvolvimento de indicadores é reforçado pela existência de um ambiente inovador permanente. Seattle, nos EUA, é frequentemente citada como um exemplo clássico de uma cidade dinâmica com um conjunto coerente de indicadores.

Da mesma forma, o desenvolvimento de indicadores para políticas urbanas pode ser um importante instrumento de promoção da participação cidadã. Há uma tendência unanimemente reconhecida: os moradores das cidades são cada vez mais convidados a atuar como parceiros e não como manifestantes. Oficinas de cenários tentam reunir, em "bases neutras" e em "termos iguais", vários grupos locais tradicionalmente opostos, a fim de formular um consenso sobre a visão

de uma cidade sustentável. O consenso esclarecido requer arte e ciência de pensadores e realizadores, bem como tomadores de decisão que se esforcem para se tornar criadores de mudanças e instrumentos para estabelecer uma comunicação equitativa.

A Carta das Cidades e Vilas Europeias: Rumo à Sustentabilidade – Carta de Aalborg, publicada em 1994, é utilizada como referência para o desenvolvimento de indicadores de desempenhos nos seus princípios e orientações políticas. Foi o marco de uma primeira tentativa para desenvolver um conjunto de indicadores de sustentabilidade no âmbito do seu projeto em cidades médias (Mega, 1994a). Esforços e realizações foram amplamente discutidos em oficinas organizadas, e indicadores foram posteriormente desenvolvidos para as cidades europeias de Alicante, Toledo, Évora, Coimbra, Perugia, Siena, Friburgo, Dessau, Nîmes, Bastia, Parma, Kavala e Rodes.

Essa concepção política da Carta de Aalborg constitui o quadro básico para o desenvolvimento de indicadores. Um indicador pode ser atribuído a priori para cada tema da política. A variedade na natureza e na escala dos temas de política dita a variedade dos indicadores a serem sugeridos. Os indicadores compostos devem afirmar se uma cidade segue as instruções de mudança declaradas na Carta.

O conjunto sugerido inclui nove indicadores ambientais: Responsabilidade pelo Clima Global, Acidificação do Meio Ambiente, Toxificação de Ecossistemas, e Distúrbios Locais. Eles expressam, juntamente com os indicadores de consumo de energia e água (com exceção do indicador de distúrbios locais) a responsabilidade de uma cidade pelo meio ambiente global. O indicador de distúrbios locais, juntamente com o indicador de qualidade do ar, o de mobilidade urbana e os indicadores de gestão de resíduos, expressam aspectos importantes da qualidade de vida local ligados às considerações globais (Mega, 1994b).

A escala para o desenvolvimento de cada indicador depende muito da sua natureza: os indicadores de clima global, acidificação, ecossistemas, toxificação ou sustentabilidade econômica são relevantes no nível da cidade. Os restantes indicadores são mais relevantes a nível regional, se quiserem refletir os vários passos do desenvolvimento dentro da mesma cidade. O grau de diversidade e heterogeneidade dentro de uma cidade define aspectos territoriais para o desenvolvimento de indicadores significativos locais.

Após a identificação e análise de dados sobre indicadores em diversos países, especialmente por iniciativa dos países europeus e cidades norte americanas, podemos verificar a preocupação para concretizar-se ferramentas de políticas públicas a fim de mitigar problemas no meio ambiente urbano.

Em nível nacional, vários têm sido os avanços e pesquisas sobre como operacionalizar esses instrumentos na realidade das cidades brasileiras. Desde 2015, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem se engajado através da

Comissão de Estudo Especial de Cidades e Comunidades Sustentáveis, que é um espelho do Comitê ISO/TC 268 – *Sustainable Cities and Communities* – nas atividades, discussões e tradução de normas internacionais ISO relacionadas ao desenvolvimento de Cidades Inteligentes, a fim de promover e impulsionar sua implementação no Brasil.

A Comissão tem por objetivo desenvolver um conjunto robusto de ferramentas para cidades, em apoio a estratégias e planos para um desenvolvimento urbano adequado, além da elaboração de normas práticas e eficientes para acelerar as transformações e digitalizações das cidades em direção à sustentabilidade, inteligência e resiliência, tendo o bem-estar dos cidadãos e a qualidade de vida como foco central. Um importante marco, ocorrido em janeiro de 2017, foi a adequação da Norma ISO 37120 (Desenvolvimento sustentável de comunidades – Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida) para realidade brasileira. A norma aborda o tripé do desenvolvimento sustentável: questões ambientais, questões sociais e questões econômicas, sendo a primeira do país a tratar especificamente de cidades sustentáveis.

A adequação da norma contou com trabalho de diversos pesquisadores da Escola Politécnica de Engenharia da Universidade de São Paulo (POLI), organismos técnicos e instituições como o Sindicato da Habitação (Secovi-SP), a Caixa Econômica Federal, o Ministério das Cidades, o Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU), a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), o Centro de Tecnologia de Edificações (CTE), o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), o Instituto de Engenharia, entre outros.

A NBR ISO 37120 foi criada a partir de uma inquietação acadêmica. Segundo o Professor da POLI Alex Abiko havia necessidade de saber a melhor maneira de avaliar a sustentabilidade urbana no Brasil. A equipe analisou mais de 150 medições em diferentes países como Estados Unidos, Austrália, França, Inglaterra, África do Sul e alguns sistemas no Brasil. A dúvida deles era: qual seria a melhor ferramenta para aplicar à realidade brasileira? Na pesquisa pelo sistema ideal, chegou-se à norma da ISO, a Organização Internacional de Normalização, que reúne associações de padronização/normalização de 162 países, incluindo o Brasil. A NBR ISO 37120 procura sintetizar tudo o que já existe de conhecimento dessas certificações.

As áreas englobadas pelos indicadores são: economia, educação, energia, ambiente, finanças, serviços de emergência, saúde, lazer, segurança, resíduos, transportes, telecomunicações, água, planejamento urbano, entre outras.

Há, também, outras duas normas que foram recém adaptadas para a realidade brasileira:

- ABNT NBR 37122 – Cidades e Comunidades Sustentáveis – Indicadores para Cidades Inteligentes, que estabelece uma estrutura de 79 indicadores que

avaliam o desempenho de uma cidade;

- ABNT NBR ISO 37123 – Cidades e comunidades sustentáveis – Indicadores para cidades resilientes, norma complementar que aborda indicadores para a resiliência das cidades.

Outros importantes indicadores são: o Sistema Nacional de Indicadores das Cidades-SNIC (Braga et al., 2006), Sistema de Índices de Sustentabilidade Urbana – SISU, Índice de Qualidade de Vida Urbana dos Municípios Brasileiros – IQVU-BR (Nahas, 2002), Sistema Integrado de Gestão do Ambiente Urbano-SIGAU (Rossetto, 2003), Indicadores de sustentabilidade dos espaços públicos urbanos: aspectos metodológicos e 16 atributos das estruturas urbanas. A questão ambiental urbana: experiências e perspectivas. (Romero et al., 2015) e as metodologias de indicadores de sustentabilidade desenvolvidos por Martins e Candido (2011).

O conjunto de indicadores tem como orientação as recomendações da Comissão para o Desenvolvimento Sustentável – CDS (Commission on Sustainable Development - CSD) da Organização das Nações Unidas – ONU, com adaptações às especificidades brasileiras. Os indicadores incorporam elementos apresentados pela CDS no documento *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies*, conhecido como Livro Azul, em sua edição de 2007, além de outras informações importantes para a realidade brasileira no que se refere às dimensões ambiental e institucional do desenvolvimento sustentável.

Os indicadores são divididos em quatro dimensões: ambiental, social, institucional e econômica. Na dimensão ambiental temos os seguintes subtemas: atmosfera, terra, água doce, oceanos, mares e áreas costeiras, biodiversidade e saneamento. Na dimensão social: população, trabalho e rendimento, saúde, educação, habitação e segurança. A dimensão institucional: quadro institucional e capacidade institucional. Por último, na dimensão econômica: quadro econômico. Essas quatro dimensões somam um total de 63 indicadores que são ilustrados por meio de gráficos e mapas, descrição e indicação das variáveis, e fontes utilizadas em sua construção, considerando a relevância para o desenvolvimento sustentável. Os indicadores contemplam série histórica e abrangem, sempre que possível, o conjunto do País e as Unidades da Federação, permitindo o acompanhamento dos fenômenos ao longo do tempo e o exame de sua ocorrência no território (IBGE, 2015).

Por fim, e não menos importante, há o Programa Cidades Sustentáveis (PCS), uma agenda nacional de sustentabilidade urbana que, desde 2012, atua na sensibilização e mobilização de governos locais para a implementação de políticas públicas atreladas ao Desenvolvimento Sustentável. Estruturado em 12 eixos temáticos e alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), o programa oferece ferramentas e metodologias de apoio à gestão pública e ao planejamento urbano integrado, além de mecanismos de controle social e estímulo à participação cidadã.

Em 2019, sob a chancela do Programa Cidades Sustentáveis, o Instituto Cidades Sustentáveis organizou esforços para a criação do Índice de Desenvolvimento Sustentável – Brasil, que, composto por 100 indicadores atrelados aos ODS, abrange todos os 5.570 municípios brasileiros, o que torna o Brasil o único país do mundo a monitorar todas as cidades na Agenda 2030.

O Brasil ainda não tem uma cidade que seja totalmente sustentável, mas está no caminho da criação de instrumentos que possam operacionalizar as metas e Objetivos do Desenvolvimento Sustentável para Cidades (ONU, 2017). Como exemplo existem as cidades paranaenses de Curitiba e Londrina, pelos seus aspectos de mobilidade urbana e arborização urbana, a cidade de Extrema em Minas Gerais, pela preservação dos recursos hídricos e do programa de reconstituição de nascentes, João Pessoa na Paraíba, onde a colaboração entre a Prefeitura Municipal, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e a Caixa Econômica Federal levou a criação da primeira cidade totalmente sustentável do país.

Considerações finais

A partir do que foi exposto, observa-se uma indicação clara dos pontos fortes teóricos de um sistema de indicadores. O mais importante, porém, é que um sistema de indicadores precisa atender às necessidades de sustentabilidade da cidade onde está sendo implementado (Shen et al., 2011). No entanto, os conceitos discutidos acima cobrem os aspectos mais pertinentes de como um formulador de políticas públicas poderia escolher uma estrutura apropriada para uma dada área urbana.

Os indicadores podem medir com mais precisão a pressão, o estado ou a política, mas em uma situação dinâmica o que realmente importa é o “estado final”. Uma política, quando orientada para a sustentabilidade, não será eficiente se o resultado estiver longe desse objetivo ou apresente uma meta irrealista. Ademais, os indicadores podem medir o sucesso de um conjunto de ações e até mesmo estimulá-las, mas não indicam a natureza dessas ações, o que é de responsabilidade dos tomadores de decisão e dos cidadãos que têm à sua disposição uma grande variedade de instrumentos para diagnóstico e intervenção urbana. Metas para indicadores temáticos podem ser definidas no nível da cidade, de acordo com as prioridades de cada cidade. O desempenho de uma cidade em nível nacional ou local deve, portanto, ser julgado de acordo com suas metas.

Os resultados de indicadores de sustentabilidade urbana, associados à estudos de caso e outras pesquisas, podem balizar políticas urbanas voltadas para alcançar as metas de sustentabilidade e, em uso posterior, permitir avaliações contínuas das intervenções. Resumindo, os indicadores são ferramentas fundamentais para impulsionar o planejamento e o gerenciamento urbano.

Os indicadores não têm sentido sem objetivos específicos e não podem contribuir para a melhoria da qualidade de vida urbana se não houver uma estrutura

política baseada em um diagnóstico da situação atual, reconhecendo que alguns fatos devem mudar e orientar mudanças e objetivos (e, se possível, metas finais) a serem atingidas.

Em conclusão, essas discussões, que se basearam na bibliografia estudada, nos levaram a seguinte indagação: como as cidades sustentáveis são criadas? Em outras palavras, para criar um ambiente urbano sustentável, é crucial medir e avaliar políticas, infraestruturas, fatores socioeconômicos, uso de recursos, emissões e quaisquer outros processos que contribuam para e lucrem com o metabolismo, a prosperidade e a qualidade de vida da cidade. Isso permitirá que autoridades municipais de planejamento urbano e governos em geral identifiquem áreas de oportunidade, bem como preocupações, e com uma perspectiva de longo prazo, respondam desenvolvendo metas realistas de sustentabilidade.

Referências

AAVV. Carta das Cidades Europeias para a Sustentabilidade – Carta de Aalborg, Aalborg, I Conferência Europeia sobre Cidades Sustentáveis, 1994. Disponível em: <http://www.rcc.gov.pt/SiteCollectionDocuments/CartaDasCidadesEuropeiasParaA%20Sustentabilidade.pdf>. Acesso em jun. 2021.

ACSELRAD, H. Discursos da Sustentabilidade Urbana. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais. Rio de Janeiro, nº. 1, maio, p. 79-90, 1999.

ACSELRAD, H. Sentidos da Sustentabilidade Urbana. In: ACSELRAD, H. A duração das cidades: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas. 2 ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2009. p. 43-70.

ADAMS, D. Urban Planning and the Development Process. London: Routledge, 1994.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). Anexo 2: Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis. Guia metodológico. 2. Ed. 2014. Disponível em: <http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/publicacionesciudades-sostenibles,18715.html>. Acesso em jul. 2021.

BARRETT, S. M.; BODDY, M.; STEWART, M. The implementation of the community land scheme. SAUS Occasional Paper nº. 3, School for Advanced Urban Studies, University of Bristol. e development process. Routledge, London, 1978.

BERKE, P. R.; GODSCHALK, D. R.; KAISER, E. J.; RODRIGUEZ, D. A. Urban Land Use Planning. Chicago: University of Illinois Press. 2006. 504p.

BOARETO, R. A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis. Revista dos Transportes Públicos – ANTP, ano 30/31, 3º e 4º trimestres, 2008, p. 143 - 160.

BRAGA, T. M.; BRITO, F.; FREITAS, A. P. G.; MARQUES, D. H. Sustentabilidade e condições de vida em áreas urbanas: medidas e determinantes nas Regiões

Metropolitanas de São Paulo e Belo Horizonte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, XIV., 2004. Caxambu. Anais [...]. Caxambu: ABEP, 2004.

BRASIL. Estatuto da Cidade: Lei nº. 10.257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em nov. 2018.

BRENNER, N. *New State Spaces: Urban governance and rescaling of statehood*, New York: Oxford University Press, 2004.

BRENNER, N. Reestruturação, Reescalamento e a Questão Urbana. *GEOUSP – espaço e tempo*, São Paulo, nº. 33, p. 198-220, 2013.

BLUM, A.; GRANT, M. Sustainable neighbourhoods: Assessment tools for renovation and development. *Journal of International*, 2006.

CAMAGNI, R. *Economía Urbana*. Barcelona: Antoni Bosch, 2005. 332p.

CASTELLS, M. *A Questão Urbana*. 4. ed. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 1983.

CHRYSOULAKIS, N. LOPES, M., SAN JOSÉ, R. et al. Sustainable urban metabolism as a link between bio-physical sciences and urban planning: The BRIDGE project, *Landscape and Urban Planning*, v. 112, p. 100-117, 2013.

COUNCIL OF EUROPE. *The European Urban Charter*. Standing Conference of Local and Regional Authorities of Europe. Strasbourg. 1992.

CHURCHILL, C. J.; BAETZ, B. W. Development of decision support system for sustainable community design. *Journal of Urban Planning and Development*. v. 125, nº. 1, mar. 1999.

DEAKIN, M.; CURWELL, S. Sustainable urban development: the framework and directory of assesment methods. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, v. 4, n.2, p. 171-197, 2002.

DUBIN, R. A. Spatial autocorrelation and neighborhood quality *Regional Science and Urban. Economics*. v. 22, p. 433-452, sep. 1992.

DURAZO, E. P. Desarrollo sustentable de las ciudades. *Ciudades*, Ciudad del México, nº. 34, p. 51, abr.-jun., 1997.

ENGEL YAN, J.; KENNEDY, C. A.; SAIZ, S.; PRESSNAIL, K. Towards sustainable neighbourhoods: the need to consider infrastructure interactions. *Canadian Journal for Civil Engineering*. v. 32, nº. 1, p. 45-57.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). *Ensuring quality of life in Europe's cities and towns*. 2009. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/quality-of-life-in-Europes-cities-and-towns>. Acesso em 25 out. 2015.

ENA Recherche. *La Ville et ses usagers*. Paris: La documentation française. 1996.

- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Our Built and Natural Environment. 2001. Disponível em: <http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/our-built-and-natural-environments.pdf>. Acesso em 20 out. 2015.
- EUROPEAN COMMISSION. Sustainable Development Indicators. Overview of relevant FP-funded research and identification of further needs, 2009. Disponível em: http://www.ieep.eu/assets/443/sdi_review.pdf. Acesso em 06 nov. 2015.
- EUROPEAN COMMISSION, DG XI. Green Paper on the Urban Environment. Brussels. 1990.
- EUROSTAT. L'offre et la demande en matière de statistiques urbaines. Luxembourg. 1997.
- FALK, N.; CARLEY, M. Sustainable urban neighbourhoods. Building communities that last. Government publication, 2012.
- GALSTER, G. On the Nature of Neighbourhood. Urban Studies Journal Foundation. v. 38, 2001.
- GUO, J.; BHAT, C. A comprehensive analysis of built environment characteristics on household residential choice and auto ownership levels. Transportation Research Part B Methodological, v. 41, n°. 5, p. 506-526, June 2007.
- GLOBAL CITIES INSTITUTE. List of Indicators: Global City Indicators Facility, 2007.
- GORE T.; NICHOLSON, D. Models of the land development process: a critical review. Environ Plan A, v. 23, n°. 5, p. 705-730, 1991.
- GRIMM, N. B.; FAETH, S. H.; GOLUBIEWSKI, N. E.; REDMAN, C. L.; WU, J.; BAI, X.; BRIGGS, J. M. Global change and the ecology of cities. Science, New York, n. 319, v. 5864, p. 756-760, 2008.
- HABITAT II. An Urbanizing World, Global Report on Human Settlements. Oxford: Oxford University Press, 1996.
- HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. T. Environmental Indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. World Resources Institute, 1995.
- HARTWICK, J. The Economics of Sustainability. Conference paper in HIID, Harvard University. 1994.
- HARVEY, D. Social Justice and the City. London, 1983.
- HARVEY, D. From Place to Space and Back Again: reflections on the condition of postmodernity. In: BIRD, J.; CURTIS, B.; PUTNAM, T.; TICKNER, L. Mapping the futures. London: Routledge, 1993.
- HIREMATH, R.; BALACHANDRA, P.; KUMAR, B.; BANSODE, S. S.; MURALI, J.

Indicator-based urban sustainability. *Energy for Sustainable Development*. v. 17, n. 6, p. 555-563, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Indicadores de desenvolvimento sustentável. 2015. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=294254>. Acesso em out. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Síntese de Indicadores Sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv62715.pdf>. Acesso em mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Atlas do Brasil. 2017. Disponível: https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/. Acesso em jun. 2021.

ICLEI. Towards Sustainable Cities and Towns. Report of the First European Conference on Sustainable Cities and Towns. Aalborg. 1995.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (IISD). Bellagio Principles. Disponível em: <http://www.iisd.org/measure/principles/bp.asp>. Acesso em 27 out. 2015.

KAROL P.; BRUNNER, J. Tools for measuring progress towards sustainable neighbourhood environments. *Sustainability*, nº. 1, v. 1, p. 612–627, 2009.

HOCH, C. What Planners Do: Power, Politics and Persuasion. Chicago: APA Planners Press, 1994.

HOUGH, M. Cities and Natural Process. A Basis for Sustainability. London: Routledge, 2004.

JACOBS, J. Morte e Vida de Grandes Cidades. Trad. Carlos S. Mendes. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

KÖTTER, T. & FRIESECKE, F. Developing urban indicators for managing mega cities. Department of Urban Planning and Real Estate Management, Institute of Geodesy and Geoinformation, University of Bonn. 2011.

LAWRENCE, D (2000). Planning theories and environmental impact assessment. *Environmental Impact Assess. Rev.* 20 (1): p. 607–625.

LEÃO BARROS, S. A. O que são os bairros: Limites político-administrativos ou lugares urbanos da cidade? O caso de Apipucos e Poço da Panela no Recife. 2002. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LI, X., ET AL. (2014) The China Urban Sustainability Index 2013. (April).

LYNCH, K. The image of the city. Cambridge: the Massachusetts Institute of

- Technology Press and the President and Fellows of Harvard College Press, 1960.
- LYNCH, A. J.; et al. Sustainable Urban Development Indicators for the United States. 2011.
- MARTINELLI, P. Qualidade Ambiental Urbana em Cidades Médias: proposta de modelo de avaliação para o Estado de São Paulo. 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.
- MARTINS, M. F; CANDIDO, G. Indicadores de sustentabilidade urbana: os desafios do processo de mensuração e formas de análise. IX Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Brasília, 2011.
- MCGRANAHAN, G.; et al. The citizens at risk: From urban sanitation to sustainable cities
Earthscan, London, 2001.
- MEGA, V. & PEDERSEN, J. Urban Sustainability Indicators Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 1998.
- MEGA, V. Les Fronts de l'innovation urbaine en Europe. Urbanisme. Paris Studies, vol. 1, nº. 4. 1994a.
- MEGA, V. Sustainability Indicators for European Cities. Harvard Institute for International Development. 1994b.
- MELO, C.; SAMPAIO, A. Análise da Expansão Urbana de Uberlândia – MG usando Ferramentas de Geoprocessamento. Observatório geográfico America Latina. 2014. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Nuevatecnologias/Sig/12.pdf>. Acesso em 20 abr. 2021.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. 2005.
- MOREIRA, A. C. M. L. Relatório de Impacto de Vizinhança. In.: SINOPSES, nº 18, p. 23-25. São Paulo: Universidade de São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. 1992.
- MORENO PIRES, S.; et al. Measuring and comparing local sustainable development through common indicators: Constraints and achievements in practice. Cities. nº. 39. p. 1-9, 2014.
- NEUFELD, D.; COCKFIELD, R.; FOX, B.; WHITELAW, G. Towards an ecosystem approach to land-use planning. Ministry of Environment and Energy, Toronto, 1994.
- O'CAMPO, P. et al. The Neighbourhood Effects on Health and Well-being (NEHW) study. Health & Place. v. 31, p. 65-74, jan. 2015.
- ODUM, E. Ecology and our endangered life support systems. Sinauer Associates, Boston, MA, 1989.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. Core set of indicators for environmental performance reviews: a synthesis report by the Group on the State of the Environment. Paris: OECD, 1993. (Environmental monographs n. 83)

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. Progress of Domestic Indicators in Relation to OECD Sustainable Development Indicators. 2003 Disponível em: <http://www.oecd.org/std/35407580.pdf>. Acesso em 20 out. 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). A new strategy of sustainable neighbourhood planning: five principles. Discussion Note 3. 2014. Disponível em: <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/A%20New%20Strategy%20of%20Sustainable%20Neighbourhood%20Planning%20Five%20principles.pdf>. Acesso em 10 jan. 2021.

PARK, R. A cidade: sugestões para a investigação do comportamento humano no meio urbano. In: VELHO, O. G. (org.). O fenômeno urbano. Guanabara: Rio de Janeiro, 4. ed., p. 26 - 67, 1987.

PERRY, C. A. The Neighborhood Unit: a scheme of arrangement for the Family-life Community. Regional Plano f New York and Its Environs. New York: Arno Press. 1929.

RAMOS, T.B., CAEIRO, S. & DE MELO, J.J. (2004) Environmental indicator frameworks to design and assess environmental monitoring programs [online]. Impact Assessment and Project Appraisal. 22 (1), pp. 47–62. [Accessed 21 September 2014].

RAVETZ, J. Integrated assessment for sustainable appraisal in cities and regions. Environmental Impact Assessment Review, n. 20, p. 31-64, 2000.

REPETTI, A; DESTHIEUX, G. A relational indicator set model for urban land-use planning and management: methodological approach and application in two case studies, 2011. Disponível em: http://infoscience.epfl.ch/record/128244/files/Desthieux_indicators.pdf. Acesso em 20 out. 2015.

ROSSETTO, A. M. Proposta de um Sistema Integrado de Gestão do Ambiente Urbano (SIGAU) para o Desenvolvimento Sustentável de Cidades. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2003. 334 f.

ROGERS, R.; GUMUCHDJIAN, P. Cidades Para Um Pequeno Planeta. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

SANCHEZ-RODRIGUEZ, R. Urban Sustainability and Global Environmental Change: Reflections for an Urban Agenda. In: GEORGE MARTINE, G.; MCGRANAHAN, G (Orgs.). The New Global Frontier. Routledge: London, 2008.

SANTOS, M. Sociedade e espaço: a formação social como teoria e como método. Boletim paulista de geografia, n°. 54. São Paulo: AGB, 1977.

- SANTOS, M. Pensando o espaço do homem. São Paulo: HUCITEC, 1986.
- SANTOS, M. Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnico-científico informacional. São Paulo: HUCITEC, 1994, 190 p.
- SANTOS, M. A natureza do espaço. São Paulo: Editora Hucitec, 1996.
- SÉBASTIEN, L. & BAULER, T. (2013) Use and influence of composite indicators for sustainable development at the EU-level [online]. Ecological Indicators. 35pp. 3–12. [Accessed 3 October 2014].
- SCHONWANDT, W. Planning in crisis: theoretical orientations for architecture and planning. Ashgate, Aldershot, UK, 2008.
- SILVA, I. F. Determinação da Concentração de Material Particulado na Região Central de Uberlândia. Dissertação (Mestrado). Uniube, Uberaba, 2018.
- SILVA, P. C. M.; et al. Proposta metodológica para a definição da área de influência de pólos geradores de viagens considerando características próprias e aspectos dinâmicos de seu entorno. Engenharia Civil, nº 27, p. 111-122, 2006.
- SHEN, L. Y.; et al. The application of urban sustainability indicators – A comparison between various practices. Habitat International. v. 35, nº. 1, p. 17-29, 2014.
- SOJA, E. Postmodern Geographies – The Reassertion of Space in Critical Social Theory. Londres: Verso, 1989.
- SPOSITO, M. E. B. O desafio metodológico da abordagem interescalar no estudo das cidades médias no mundo contemporâneo. Cidades. Presidente Prudente, v.3, n.5, p-143-157, 2006.
- SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (SEPA). Sustainable Development Indicators for Sweden, 2001. Disponível em: <http://www.scb.se/statistik/MI/MI1103/2003M00/Preface1to52.pdf>. Acesso em 05/11/2015.
- SUTTLES, G. D. The social construction of communities. University of Chicago Press, Chicago, 1972, 278 p.
- TANGUAY, G. A.; RAFAONSON, J.; FRANÇOIS, L.; LANOIE, P. Measuring the sustainability of cities: an analysis of the use of local indicators. Revista Ecological Indicators, v. 10, nº. 2, p. 407-418, mar. 2010.
- TEED, J.; et. al. Sustainable urban landscapes, neighborhood pattern tipology. Retrieved. June, 2013.
- TERRAZA, H. De Ciudades Emergentes a Ciudades Sostenibles Comprendiendo y Proyectando las Metrópolis del Siglo XXI. Banco Inter Americano de Desenvolvimento, 2016.
- UNESCO. MAB. Towards the Sustainable City? Paris. 1998.

UNESCO. Les Libertés de la ville. Passages. Paris. 1995.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). UNITED NATIONS. Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies. 3. ed., 2007. Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf>. Acesso em 05/08/2018.

UNITED NATIONS. Indicators of sustainable development: Guidelines and Methodologies. 2007. Disponível em < <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf> > Acesso em 15/04/2018.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (2004) Urban Indicators Guidelines. Paris.

VAN BELLEN, H. M. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005. 253 p.

VAN LEEUWEN, C.J.; et al. City Blueprints: 24 Indicators to Assess the Sustainability of the Urban Water Cycle. *Water Resources Management*, v. 26, n. 8, p. 2177–2197, 2012.

WESTPHAL, M. F.; MOTTA, R. M. M.; BOGUS, C. Cidades Saudáveis: a formação de uma rede brasileira. *Jornal do Conasems*, edição especial, p.16-19, 1998.

WATSON, J. European Green City Index. 2009.

WCED (1987) *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development* Oxford University Press, Oxford. (1987), pp. 1–300, especially point, particularly chapter 2, III, 7.73 online via <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>

WEELER, S; BEATLEY, T. *The sustainable urban development reader*. 2. Ed. Nova Iorque: Routledge, 2004.

WHO-OECD. 1996. *Our Cities, Our Future*. First International Congress on Healthy and Ecological Cities. Copenhagen.

WORLD BANK. 1994. *Making Development Sustainable; From Concepts to Actions*. Washington DC.

WORLD BANK. 1995a. *The Human Face of the Urban Environment*. Washington DC.

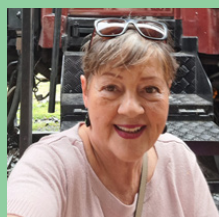
YE, L.; et al. What is “Smart Growth?”- Really?. *Journal of planning literature*. Disponível em <http://jpl.sagepub.com/content/19/3/301.short>. Acesso em 25 out. 2015.

YIGITCANLAR, T., TERIMAN, S., 2013. Rethinking sustainable urban development: towards an integrated planning and development process. In: *Int. J. Environ. Sci. Technol.* N. 12, p. 341–352.

ZAVADSKAS, E., ET AL. (2007) Vilnius urban sustainability assessment with an emphasis on pollution. *Ekologija*. 53pp. 64–72.

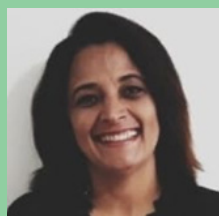
CAPÍTULO 2

Cidades sustentáveis, ODS 11 - Educação ambiental: um desafio para o planejador urbano ou uma ferramenta indispensável?



Izabel Cristina Bruno Bacellar Zaneti

Pedagoga, Mestre em Educação- FE/ UnB, Doutora em Desenvolvimento Sustentável- CDS/UnB, Docente no PPGCDS e no Curso Ciências Ambientais- UnB.



Elaine Gomes Borges

Doutoranda em Desenvolvimento Sustentável no PPGCDS/UnB, Mestra em Turismo e Especialista em Gestão de Negócios Turísticos (CET/UnB). É professora da Universidade Estadual do Piauí (UESPI) e pesquisadora do Laboratório de Estudos em Turismo e Sustentabilidade (LETS). Atualmente pesquisa resíduos de plástico no Turismo litorâneo.



Tahinah Martins

Doutoranda em Desenvolvimento Sustentável (CDS/UnB), Mestre em Direito (FD/UnB), pós-graduada em Meio Ambiente e Sustentabilidade (FGV) e Direito Constitucional (IDP). Servidora pública com atuação na área de meio ambiente.

Cidades sustentáveis, ODS 11 - Educação ambiental: um desafio para o planejador urbano ou uma ferramenta indispensável?

**Izabel Cristina Bruno Bacellar Zaneti
Elaine Gomes Borges
Tahinah Martins**

INTRODUÇÃO

O presente capítulo discute a importância da educação ambiental para a implementação de políticas públicas em cidades sustentáveis, como desafio para o planejador urbano e, ao mesmo tempo, ferramenta indispensável.

Estima-se que 2% da superfície do planeta seja ocupada por cidades e que 55% da população do planeta viva nelas. A expectativa é de que esta proporção aumente para 70% até 2050 (ONU, 2019). Na América Latina, 80% da população vive em cidades, sendo dessa 17% concentrada em seis megacidades com populações de mais de 10 milhões de habitantes cada.

O Brasil sofreu intenso processo de êxodo rural nas décadas de 1970 e 1980, gerando o fenômeno da metropolização (ocupação urbana que ultrapassa os limites da cidade). De acordo com dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2015), quase 85% da população vive em áreas urbanas, sendo seus maiores municípios, que correspondem a mais de 10% da população brasileira: São Paulo, com 12,3 milhões de habitantes, seguido pelo Rio de Janeiro (6,75 milhões), Brasília (3,05 milhões) e Salvador (2,88 milhões).

O crescimento previsto para as cidades coincide com a implementação, por muitos países, de processos de políticas descentralizadas, o que resulta num aumento das responsabilidades de governos locais, em observância aos parâmetros internacionais para prevenção ou contenção de mudanças climáticas (ONU, 2019). Nesse contexto, as cidades assumiriam papéis ativos ao contribuir com as iniciativas de governos nacionais para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

Dessa forma, torna-se impossível falar em cidades sem remeter ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 da ONU, que visa reverter essa situação, considerando várias metas que envolvem habitação, transporte, segurança, urbanização inclusiva e sustentável, dentre outras, incluindo as pessoas na cidade, a fim de lhes proporcionar qualidade de vida. Além disso, existe uma rede mundial de 90 cidades sustentáveis, a C40, que se comprometeram

com a mudança climática através do compartilhamento de conhecimentos e da execução de ações em prol da redução dos GEEs. Dez dessas cidades se situam na América Latina e quatro no Brasil (São Paulo, Curitiba, Rio de Janeiro e Salvador).

Uma cidade sustentável é aquela que visa a melhoria da qualidade de vida humana, naquele tempo e espaço, valendo-se de práticas que valorizem o social, ambiental e econômico, e cujas políticas governamentais combatam a poluição da água, ar e solo, a falta de saneamento básico e a estratificação social. Assim, a partir da compreensão da importância do meio ambiente para as cidades sustentáveis e dos reflexos do ODS 11 para a estrutura e organização das cidades, este trabalho se propõe a refletir sobre o papel da educação ambiental como ferramenta indispensável para o planejador urbano.

1. A importância do meio ambiente para as cidades sustentáveis

As cidades são organismos vivos, sempre em crescimento (muitas vezes não planejado e desenfreado). A população urbana mundial em 2018 era de 4,2 milhões de habitantes e estima-se que em 2030 alcance 5,17 milhões de habitantes (WUP, 2018).

O crescimento populacional corresponde a impactos no meio ambiente e na qualidade de vida dos habitantes. Em 1976, a ONU organizou a conferência Habitat 1 para discutir essas temáticas, especialmente a estratificação social, em escala mundial e suas possíveis soluções. Em 1996, a ONU promoveu o Habitat II, quando se iniciou a discussão sobre cidades sustentáveis.

Em 2016, foi realizada uma terceira conferência, Habitat III, onde foi lançada a Nova Agenda Urbana, com diretrizes para as cidades com foco no ODS 11: "Representa uma mudança de paradigma baseada na ciência das cidades, definindo padrões e princípios para o planejamento, construção, desenvolvimento, gestão e melhoria das áreas urbanas" (ONU, 2023). O documento é dividido em quatro seções: (i) sustentabilidade social, (ii) econômica, (iii) ambiental e (iv) espacial. As dimensões principais ilustram e especificam a forma como os diferentes tópicos de sustentabilidade devem ser incorporados no planejamento, a fim de construir cidades inclusivas e sustentáveis. A ideia é de que governos locais possam utilizá-la como um importante instrumento de apoio à autoaprendizagem, disponível de forma gratuita e online para todos.

A Nova Agenda Urbana vai ao encontro do ODS 11, como uma ferramenta de concretização do seu objetivo e de suas metas. Faz-se relevante observar que para que se atinjam os fins do ODS 11, vários outros ODS e metas podem ser atingidos, como saneamento básico, acesso universal à água, erradicação da pobreza, entre outros – um agir local com pensamento global.

Nesse sentido, a preocupação com o meio ambiente assume importância

vital para o controle dos desafios relacionados ao equilíbrio urbano. Cidades sustentáveis implicam em direções estratégicas quanto ao planejamento urbano, devendo os governos adotar noções de inteligência para distinguir suas políticas e programas, visando um desenvolvimento sustentável, crescimento econômico e uma melhor qualidade de vida para seus cidadãos (Ballas, 2013).

Para Thuzar (2011), cidades inteligentes precisam de políticas de desenvolvimento urbano sustentável, em que todos os residentes, incluindo os de baixa ou nenhuma renda, possam viver bem. São cidades que têm alta qualidade de vida e buscam o desenvolvimento econômico sustentável, por meio de investimentos em capital humano e social e em infraestrutura de comunicação moderna (transporte e tecnologia de comunicação da informação), além de administrar os recursos naturais por meio de políticas participativas. As cidades, portanto, também devem ser sustentáveis, convergindo objetivos econômicos, sociais e ambientais. Nesse sentido, o autor defende a criatividade como o principal impulsionador da cidade inteligente em que, portanto, a educação, o aprendizado e o conhecimento têm papéis centrais (Thuzar, 2011).

A educação ambiental, assim como qualquer outro campo, é capaz de modificar os hábitos de uma sociedade, construindo uma nova mais apta ao desenvolvimento sustentável e ao atingimento das metas da ONU para 2030 e para o futuro. No entanto, para que isso aconteça, é necessário o auxílio do poder público e a elaboração de estratégias para que as metas de sustentabilidade sejam postas em prática.

O poder público deve: prover a todos oportunidades e diretrizes educativas que lhes permitam papel de protagonista no desenvolvimento sustentável local e regional; garantir a implementação do tema da sustentabilidade de forma transversal nas propostas pedagógicas; garantir a universalização e a qualidade do ensino em todos os níveis, assegurando a participação da comunidade na gestão escolar; e incentivar o papel dos meios de comunicação na conscientização sobre os desafios socioambientais e a mudanças culturais necessárias a uma cultura da sustentabilidade.

A educação ambiental também é de grande valia para a promoção de uma cultura de equidade, justiça social e paz, baseada nos pilares econômico, social e ambiental. Os governos devem desenvolver e implementar programas para prevenir e superar a condição de pobreza; assegurar acesso equitativo aos serviços públicos, à educação, à saúde, às oportunidades de emprego, às atividades culturais e esportivas, e à informação e inclusão digital com acesso à internet. Devem, também, aumentar a segurança das comunidades e promover a cultura de paz, bem como garantir o direito à habitação em condições de boa qualidade, promovendo, assim, a inclusão social (Programa Cidades Sustentáveis, 2016).

Um ponto de grande relevância para a garantia da qualidade de vida nas

idades é a mobilidade urbana, que não se reduz ao serviço de transporte público, mas à mobilidade sustentável para os pedestres e ciclistas. A ausência de investimentos em infraestrutura, educação, transporte, saneamento, habitação e serviços de saúde afeta direta e indiretamente a saúde, provocando doenças.

De forma oposta, melhores condições de mobilidade urbana impactam positivamente na saúde pública, na qualidade do ar e no direito à locomoção. Uma melhor mobilidade urbana implica em menos tráfego, pois reduz a necessidade de utilização de transporte individual. Daí a importância do desenvolvimento de programas de infraestrutura para locomoção de pedestres e pessoas com deficiência, e de tecnologias para acelerar a transição para veículos menos poluentes e reduzir o impacto dos transportes sobre o ambiente e a saúde pública (Programa Cidades Sustentáveis, 2016).

Para assegurar a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico sustentável nas cidades, é necessário tratar também do gerenciamento de resíduos sólidos, logística reversa e economia circular, que substitui o sistema de produção linear por novos fluxos circulares e inovadores de reutilização, restauração e renovação, num processo integrado. As cidades consomem, hoje, mais de 75% dos recursos naturais e são responsáveis por gerar 70% dos resíduos sólidos em escala global. Nesta última década, a geração de RSU (resíduos sólidos urbanos), no Brasil, registrou considerável incremento, passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano (ABRELPE, 2020).

Numa análise geral, a geração brasileira de RSU cresceu 19% em dez anos, sendo que o Sudeste corresponde a 50% da geração nacional total, custando 1 bilhão de dólares por ano a destinação inadequada. O relatório da ABRELPE (2020) aponta, ainda, que, no Brasil, 170kg de matéria orgânica são descartados por pessoa a cada ano. Só em 2020, 13,35 milhões de toneladas de plásticos foram descartados, em um total de 79,6 milhões de toneladas de RSU gerados. Faz-se importante notar que o país alcançará uma geração de 100 milhões de toneladas de resíduos urbanos em 2033, marca que traz um chamado urgente por políticas públicas, educação ambiental e novas normativas mais incisivas de estímulo à não geração e à reutilização de materiais, etapas iniciais e prioritárias na hierarquia da gestão, preconizada pela PNRS (ABRELPE, 2020). Portanto, a criação de novos modelos de gestão de resíduos é imprescindível para cidades que se pressupõem mais sustentáveis.

A partir do momento em que as políticas públicas urbanas levam em consideração as preocupações com a qualidade de vida e o desenvolvimento urbano sustentável, pode-se também reduzir a desigualdade econômica, e a partir do momento em que se reduz essa desigualdade, promove-se o bem-estar da população e o espaço urbano sustentável.

Assim, é vital a importância da educação ambiental para as cidades do

futuro. A criação de uma nova cultura de respeito ao meio ambiente por meio da responsabilidade governamental e cidadã, com a gestão dos resíduos sólidos, com a mobilidade urbana, com a EA (educação ambiental), é uma resposta efetiva das cidades para o ganho de sustentabilidade, visto que o desenvolvimento sustentável é um processo de aprendizagem social de longo prazo, que deve ser direcionado por políticas públicas orientadas através de um plano de desenvolvimento local e internacional.

ODS 11 e Cidades Sustentáveis

Na Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), realizada em Nova York, em setembro de 2015, com a participação de 193 estados membros, foi estabelecido um plano global, a Agenda 2030, que propõe um conjunto de 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) – metas globais agrupadas nas dimensões: social, econômica, ambiental e institucional. Os ODS são norteadores de um mundo melhor para os povos e nações, e apontam para a necessidade de localização nos territórios, aproximando as metas globais dos problemas locais de cada município. Eles são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima, e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015). Para alcançar a sustentabilidade social, econômica e ambiental é preciso buscar o cumprimento integral dos ODS (ROCHA, 2021).

A incorporação dos ODS no âmbito dos municípios pode oportunizar: o fortalecimento das capacidades dos atores locais para implementar ações alinhadas aos objetivos globais e aceleração do desenvolvimento de forma sustentável, focalizando na solução dos principais problemas locais; a integração das políticas e projetos locais com resultados efetivos voltados à erradicação da pobreza, ao crescimento econômico inclusivo e à proteção ambiental, com foco nas metas previstas para serem alcançadas até 2030; a realização de ações de impacto a fim de “não deixar ninguém para trás” e a evolução dos indicadores sociais, econômicos e ambientais do município ou território; a concretização de uma governança local eficaz que garanta a inclusão de diferentes setores e atores sociais locais nessa jornada, criando engajamento, compromisso e participação social (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2021).

Neste capítulo, nossa referência é o ODS 11 – Cidades e comunidades sustentáveis, como eixo central do processo de territorialização. Conforme UN DESA (2019), a estimativa é de que até meados de 2050, cerca de 68 % da população mundial viverá em áreas urbanas. A população urbana mundial cresceu vertiginosamente, saltando de 751 milhões em 1950 para 4,2 bilhões em 2018, devendo crescer em 2,5 bilhões de habitantes urbanos entre 2018 e 2050, com quase 90% de aumento. As cidades com menos de 1 milhão de habitantes são as aglomerações urbanas que mais crescem.

A projeção do ODS 11 é de tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis. Nesse aspecto, a educação ambiental busca promover o exercício da cidadania e a consequente democracia participativa (JACOBI, 2003). Para alcançar tal objetivo, não basta apenas a consciência da necessidade de se preservar e conservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações, uma vez que isso compõe um processo muito maior, imbricado na relação homem/natureza. Assim, há a necessidade também da participação crítica e reflexiva, a partir da formação de conhecimentos capazes de promoverem a transformação da realidade na qual as populações estão inseridas, através da união de elementos ambientais, econômicos, sociais e políticos. Conforme Stangherlin e Ferraresi (2021), a vida se realiza nas cidades e o espaço urbano é o locus adequado para projetar novas possibilidades de convívio que permitam a significação de existência digna, igualitária, livre e não discriminatória (STANGHERLIN e FERRARESI, 2021). O Objetivo 11, que está mais vinculado à dimensão ambiental, estipulando tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, deverá abarcar:

Quadro 1: As 10 Metas da ODS 11 até 2030.

Ações	Temáticas a serem atingidas
Garantir	11.1 O acesso de todos à habitação segura, adequada e a preço acessível, e aos serviços básicos; urbanizar as favelas.
Proporcionar	11.2 O acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos, melhorando a segurança rodoviária por meio da expansão dos transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos.
Aumentar	11.7 O acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, particularmente para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência.
	11.3 A urbanização inclusiva e sustentável, e as capacidades para o planejamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e sustentáveis, em todos os países.
Fortalecer	11.4 Esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo.
Reduzir	11.5 Significativamente o número de mortes e o número de pessoas afetadas por catástrofes e substancialmente diminuir as perdas econômicas diretas causadas por elas em relação ao produto interno bruto global, incluindo os desastres relacionados à água, com o foco em proteger os pobres e as pessoas em situação de vulnerabilidade.
	11.6 O impacto ambiental negativo per capita das cidades, prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros.
Apoiar	11.a Relações econômicas, sociais e ambientais positivas entre áreas urbanas, periurbanas e rurais, reforçando o planejamento nacional e regional de desenvolvimento.
	11.c Os países menos desenvolvidos, inclusive por meio de assistência técnica e financeira, para construções sustentáveis e resilientes, utilizando materiais locais.

Fonte: As autoras (2023), adaptado de ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2015).

Para Stangherlin e Ferraresi (2021), o protótipo de cidade, orientado pelo ODS 11 a partir da utilização de novas tecnologias, pode ou poderá emergir como espaço humanizado de inclusão e realização de direitos humanos, uma vez que

as metas tratam da efetivação de direitos à acessibilidade, ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, à democracia participativa, entre outras.

As práticas governamentais devem refletir o desempenho humano e social das pessoas (FRAGA e ALVES, 2021), pois “sem que haja a erradicação da pobreza e sem o respeito aos direitos humanos relacionados à vida, não há que se falar em sustentabilidade” (ROCHA, 2021). O cotidiano é impactado pelos acessos que as pessoas devem ter, em suas sobrevivências, sendo que no tema da sustentabilidade, a relação entre as formatações das cidades e as comunidades é ampla. (FRAGA e ALVES, 2021). Cabe a cada país, por intermédio de seus gestores, implementar medidas administrativas para alcançar os objetivos propostos pela ONU, ainda que os ODS não façam menção às medidas a serem tomadas para que isso ocorra, de forma que os governos acabem focando em um ou outro objetivo, sem considerar que todos eles estão imbricados (ROCHA, 2021).

A urbanização sustentável é o ponto chave para um desenvolvimento exitoso (UN DESA, 2019). De acordo com Rocha (2021), além de prestar os serviços básicos, é necessário haver qualidade no transporte, segurança pública, a instalação de postos de saúde, escolas e creches, e moradias dignas com preços acessíveis.

De acordo com Romero (2007), a definição de uma cidade sustentável é:

assentamento humano constituído por uma sociedade com consciência de seu papel de agente transformador dos espaços e cuja relação não se dá pela razão natureza-objeto e sim por uma ação sinérgica entre prudência ecológica, eficiência energética e equidade socioespacial (ROMERO, 2007).

Segundo Campello (2020), no enfrentamento às problemáticas ambientais no âmbito das cidades, a participação popular é um imperativo, pois permite aos cidadãos exigir a proteção do meio ambiente no contexto urbano, construindo, conjuntamente com os poderes Legislativo e Executivo, diretrizes para o alcance da sustentabilidade.

Mediante o que se expõe, vale lembrar o pressuposto da meta 4.7 do ODS 4 apresenta que até 2030 se deve garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis, direitos humanos, igualdade de gênero, promoção de uma cultura de paz e não violência, cidadania global e valorização da diversidade cultural, e da contribuição para o desenvolvimento sustentável (Ipea, 2019).

Para Jacobi (2003), o tema da sustentabilidade e o paradigma da “sociedade de risco” se confrontam, implicando, assim, na necessidade de serem multiplicadas as práticas sociais baseadas no fortalecimento do direito ao acesso à informação e à educação ambiental, através de uma perspectiva integradora.

3. Educação Ambiental (EA) como ferramenta indispensável para o planejador urbano

3.1 Evolução histórica da EA e a Política Nacional de Educação Ambiental

Diante desse cenário de crise, vamos discutir o papel da EA no planejamento urbano, como uma ferramenta importante e eficiente para a sensibilização e conscientização das pessoas.

Historicamente, a EA vem sendo discutida em eventos internacionais desde a conferência sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano promovida pela ONU, em Estocolmo (1972), quando começou a ser debatida junto às questões ambientais. Na conferência de Tbilisi (1977), foram definidos os objetivos, os princípios e as estratégias da Educação Ambiental em âmbito internacional. Na Rio 92, no Brasil, um importante debate aconteceu, resultando no Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global, documento que é uma referência para educadores/as ambientais, formuladores de políticas públicas e organizações da sociedade civil envolvidos na temática.

Em 1988, a Constituição Federal deu à sociedade brasileira o direito fundamental à educação ambiental nos termos dos artigos 205 e 225. No inciso VI do artigo 225, a Carta Magna direciona ao Poder Público a tarefa de criar condições para a coletividade cumprir o seu dever de defender e proteger o meio ambiente ecologicamente equilibrado para as presentes e futuras gerações, que tem dentre as suas atribuições, promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública sobre o tema.

Todavia, a EA ganha uma formulação específica através da Política Nacional de Educação Ambiental - PNEA (1999), que estabelece princípios, objetivos e campos de realização da EA no ensino formal e não-formal, partindo da afirmação:

Art. 1º Entendem-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meioambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

Complementando o conceito, Loureiro (2003) diz que a educação ambiental é por definição: "elemento estratégico na formação de ampla consciência crítica das relações sociais e de produção que situam a inserção humana na natureza" (LOUREIRO et al., 2003, p. 69). A educação possui um papel importante na mudança de paradigmas para uma vida sustentável, pois essa mudança contribui à humanização dos modos de vida e à atribuição de sentido às práticas sociais e experiências vivenciadas. É preciso, portanto, partir de um caminho pedagógico ecozóico, que se funda numa nova relação saudável com o planeta, ao proporcionar sentido nas práticas diárias (GADOTTI, 2008).

Portanto, a educação ambiental tem a responsabilidade de fomentar um pensamento crítico e inovador, que resulte na transformação da realidade e que possibilite o desenvolvimento de habilidades para analisar os conflitos e intervir de forma individual e comunitária nas questões ambientais, de forma que reconhecer a criação de espaços para compartilhar questões ambientais com a população, e fornecer as informações necessárias para a compreensão da problemática e consequente tomada de decisão, seja um instrumento importante de educação ambiental (ZANETI, 2003).

3.2 Diferentes correntes da EA

Existem diferentes correntes da EA, dentre elas: a EA conservadora, a pragmática e a crítica. Segundo Guimarães (2007), a concepção da Educação Ambiental Conservadora “não é epistemologicamente instrumentalizada, nem comprometida com o processo de transformações significativas da realidade socioambiental, presa que é aos seus próprios arcabouços ideológicos” (Guimarães, M. 2007, p. 26). Já a Educação Ambiental Pragmática, segundo SILVA (1996, p. 26), “apresenta o foco na ação, na busca de soluções para os problemas ambientais e na proposição de normas a serem seguidas”. Carvalho (2008), discute a perspectiva crítica de EA como um bom encontro da educação ambiental com o pensamento crítico aplicado à educação, embasado nos ideais democráticos e emancipatórios. Ao contrário da EA conservadora e da EA pragmática, a EA crítica busca o posicionamento crítico e político da Educação Ambiental (GUIMARÃES, 2007), para contribuir para a transformação da sociedade atual.

A EA apresenta diversos conceitos e vertentes, como vimos acima, porém é possível perceber que a EA crítica é uma ferramenta indispensável para o planejador urbano com objetivo de buscar a transformação social, o que engloba indivíduos, grupos e classes sociais, culturas e estruturas, como base para a construção democrática de sociedades sustentáveis e novos modos de se viver na natureza e nas cidades.

A concentração urbana e o aumento da população não ocorreram de forma conciliatória com o meio ambiente, ao contrário, aceleraram os problemas ambientais pelo estilo de vida das pessoas: consumo exacerbado, descarte, geração de resíduos, uso da água, habitação, ocupação de encostas, áreas de proteção ambiental, avanço sobre áreas alagadas, mangues e especulação imobiliária. Assim, EA é de fundamental importância e deveria estar presente no trabalho do planejador urbano e suas equipes interdisciplinares tais como: urbanistas, arquitetos, engenheiros e gestores públicos.

O entendimento sobre a educação ambiental passa a ser ampliado à medida em que esta deixa de ser apenas um instrumento de conscientização acerca dos problemas ambientais, mas se constitui como meio de participação

ativa e crítica do homem como cidadão na formulação e efetivação de resoluções (JACOBI, 2003). A EA surge como um elemento de formação da cidadania, pois não basta apenas o conhecimento, mas também a formação e o desenvolvimento de atitudes para a resolução dos problemas socioambientais.

As estratégias de EA que orientam a gestão das cidades devem ser dialógicas e favorecer o sentido e o significado do processo educativo. As escolas, como parte da sociedade, precisam desenvolver a EA para estimular um modo de vida em equilíbrio com a natureza, para que as pessoas deixem de ser vítimas do que elas próprias criaram.

É preciso, assim, aliar a EA à gestão ambiental urbana, mostrando a importância da responsabilidade compartilhada e a interligação entre os diversos atores sociais envolvidos no sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Cidades sustentáveis são um desafio, requerendo direções estratégicas do planejamento urbano, devendo os governos adotarem noções de inteligência para distinguir políticas e programas que visem um desenvolvimento sustentável, crescimento econômico e uma melhor qualidade de vida para seus cidadãos (Ballas, 2013).

Os ODS abordam a participação em uma de suas metas, a meta 11.3, que propõe, até 2030, um aumento da urbanização inclusiva e sustentável, e a capacidade para o planejamento e a gestão participativa, integrada e sustentável dos assentamentos humanos, em todos os países (OLIVEIRA, 2018, p.7). Apesar do seu caráter global e universal, os ODS dialogam com as políticas e ações em escala local, enfatizando a importância do engajamento popular nas ações municipais.

A educação, portanto, possui um papel importante na mudança de paradigmas que consideram a vida nas cidades sustentáveis, contribuindo para a humanização dos modos de vida e para a atribuição de sentido às práticas sociais e experiências vivenciadas nas cidades. A EA, torna-se, então, um instrumento de transformação e uma ferramenta indispensável para o planejador urbano, pois por meio dela as pessoas e as comunidades passam a ter um papel ativo, participativo, consciente e solidário, ou seja, um papel de ator social, transformador da realidade, capaz de analisar, discutir e opinar. O planejador urbano passa a ser um agente de mudanças, com o poder decisório para planejar, acompanhado de uma equipe interdisciplinar, uma maior qualidade de vida tanto na infraestrutura do espaço urbano como nos serviços que a esfera pública municipal deve ofertar à população.

Em conclusão, temos um imenso desafio pela frente!

Referências

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020. São Paulo: 2020.
- BALLAS, "What Makes a Happy City? Cities 32: 1 (2013) S39–S50.
- BARBOSA, G. O desafio do desenvolvimento sustentável. In: Revista Visões 4a Edição, N. 4, Vol. 1 - Jan/Jun 2008.
- BRASIL. Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 2016.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. 2022.
- BRASIL. Política Nacional de Educação Ambiental. Lei 9795/99. Brasília, DF, 1999.
- CAMPELLO, L. G. B.; LIMA Rafaela de D. FERREIRA, R. de O. Desafios para as cidades sustentáveis: a participação pública em matéria ambiental como pilar do plano diretor. Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade | e-ISSN: 2525-989X | Encontro Virtual | v. 6 | n. 2 | p. 56 - 76 | Jul/Dez. 2020.
- CARVALHO, I. M. Educação Ambiental: a formação do sujeito ecológico. São Paulo, Cortez, 2008.
- FRAGA, A. A. C.; ALVES, J. L. 2021 Conjuntura dos Indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em relação ao ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis. Brazilian Journal of Development. Curitiba, v.7, n.12, p. 114371-114383 dec. 2021.
- GADOTTI, M. Educar para a sustentabilidade: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável. Editora e Livraria Paulo Freire. S. Paulo. 2008
- GUIMARÃES, M. Educação Ambiental crítica. Identidades da educação ambiental brasileira. MEC. Brasília. 2007
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de indicadores: 2015. Rio de Janeiro, 2016.
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Publicado em 2019. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods11.html>> Acesso em 05.mar.2023.
- JACOBI, P. Educação Ambiental, cidadania e sustentabilidade. In. Cadernos de Pesquisa, n. 118, março/ 2003.
- . Educação Ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. In: Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 233-250, maio/ago. 2005

LOUREIRO, C. F. B. Premissas teóricas para uma educação ambiental transformadora. *Ambiente & Educação*, 8 (1), 37–54. Rio Grande, RS. 2009

MORI, AND A. CHRISTODOULOU. Review of Sustainability Indices and Indicators: Towards a New City Sustainability Index (CSI). In: *Environmental Impact Assessment Review* 32: 1 (2012) 94–106

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU-Habitat lança Nova Agenda Urbana Ilustrada em português. 10.jan.2023. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/214756-onu-habitat-lan%C3%A7a-nova-agenda-urbana-ilustrada-em-portugu%C3%AAs>> Acesso em: 23.mar.2023

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: 05.mar.2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701> Acesso em: 20.mar.2023

Programa Cidades Sustentáveis. Guia GPS: Gestão Pública Sustentável. São Paulo, 2016. Disponível em: www.cidadessustentaveis.org.br/gps Acesso em: 21.mar.2023

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD (2021). Guia de Territorialização e Integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 64 p. Brasília: PNUD, 2021.

ROCHA, A. T. V. A correlação entre a violação dos direitos humanos, a vulnerabilidade ambiental e os desastres ecológicos em face dos ODS 1 e 11 da Agenda 2030. (In) *Diálogos de Socioambientalismo. Sustentabilidade, governança e justiça ambiental. Dados Eletrônicos*. Garcia, H. S. Garcia, D. S. S. (Org.). Itajaí: Ed. da Univali, 2021.

ROMERO, M. A. B. Frentes do Urbano para a Construção de Indicadores de Sustentabilidade Intra Urbana. Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo da FAU-UnB, Ano 6, n. 4 (novembro/2007), 2007.

STANGHERLIN M; FERRARESI, C.M. Direito à cidade e desastres naturais: o ODS 11 como possibilidade de (re) organização urbana no cenário das pequenas cidades (resilientes). *Revista JurisFIB*. Vol XII, Ano XII, Dez. 2021. Bauru – SP

SILVA, T.D. O cidadão e a coletividade: identificações produzidas no discurso de educação ambiental. In TRAJBER, R. ET AL *Avaliando a educação ambiental no Brasil: materiais impressos*. São Paulo, 1996.

THUZAR. Urbanization in SouthEast Asia: Developing Smart Cities for the Future? In: *Regional Outlook* (2011) 96–100.

UN DESA. United Nations - Department of Economic and Social Affairs. World Urbanization Prospects. The 2018 Revision. United Nations. New York, 2019. Disponível em: <<https://desapublications.un.org/publications/2018-revision-world-urbanization-prospects>> Acesso em: 05.mar.2023.

ZANETI, I.C.B.B. As Sobras da modernidade: O sistema de gestão de resíduos sólidos em Porto Alegre. RS. CORAG, 2006

ZANETI, I.C.B.B; OLIVEIRA, L. F. E.; FIOROTTI, T. H. Gestão de cidades versus gestão de resíduos sólidos: a Cidade Inteligente será a Cidade Lixo Zero? in ANAIS 13 Fórum Internacional dos resíduos sólidos. Instituto Venturi. Porto Alegre. 2022

CAPÍTULO 3

Proposição de indicadores de qualidade ambiental urbana



Valdir Adilson Steinke

Possui graduação em Geografia, Mestrado em Geologia e Doutorado em Ecologia. Professor no departamento de Geografia da UnB. Credenciado no Programa Acadêmico de Pós-Graduação em Geografia, e no Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Geografia. Atua nas áreas de análise da paisagem, gestão e modelagem de recursos hídricos, formação de professores de geografia, geoiconografia e multimídias. Coordena projetos de pesquisa.

Proposição de indicadores de qualidade ambiental urbana

Valdir Adilson Steinke

Introdução

A evolução da espécie humana é um processo complexo que envolve milhões de anos de mudanças físicas, comportamentais e culturais. A história da evolução humana pode ser dividida em vários estágios, incluindo o desenvolvimento dos primeiros hominídeos, o surgimento dos *Homo sapiens* e o desenvolvimento da cultura e da civilização humana (DARWIN, 1859); (LEWIN, 1997); (STRINGER e ANDREWS, 2005); (JOHANSON e EDGAR, 2006).

A espécie humana, tal qual conhecemos atualmente, é resultado de um processo de transformação (evolução) intensa, dinâmica e constante. Esta espécie, desde que passou a ocupar o planeta Terra, nesta longa história, tem registrado seus processos de modificação do ambiente originário (anterior a existência humana) e, inegavelmente, tem sido a energia desencadeadora do que se pode definir como paisagens antropogênicas.

Neste texto, parte-se do pressuposto de que as cidades, desde suas origens mais primitivas enquanto aglomerados humanos, são resultantes de modificações desencadeadas pelas dinâmicas antrópicas, sejam elas de cunho cultural ou apenas por demandas de subsistência e sobrevivência (HAKANSSON e WIDGREN 2014); (THURSTON e FISHER 2007).

Desta forma, atentar-se ao método complexo e dinâmico de constituição e modificação da paisagem, sendo a paisagem originária definida como a que precede o comparecimento da espécie humana e, a partir da introdução da espécie *Homo* (*Habilis* e depois *Sapiens*), torna-se uma paisagem antropogênica. As bases dessa abordagem estão nos trabalhos de Schellnhuber (1999), Steffen et al. (2004, 2011, 2016), Waters et al. (2016), Ellis e Haff (2009), Ellis (2011, 2015), Ellis et al. (2016) e Young (2015).

As paisagens antropogênicas, estabelecidas a partir do início da história humana e suas escalas de transformação das paisagens originárias, aumentaram em razão do crescimento das populações, da densidade demográfica, da longevidade dos assentamentos e das dinâmicas socioculturais em diferentes períodos da história humana, no entanto, os assentamentos urbanos são, seguramente, os ícones mais evidentes das paisagens antropogênicas em função da elevada transformação realizada.

A teoria urbana desenvolvida para paisagens contemporâneas apresenta-

da por Sorensen Okata (2010), pode ser muito útil para contextualizar a relação existente no processo urbano histórico e as paisagens antropogênicas em contextos contemporâneos.

Embasam esta consideração estudos realizados em regiões distintas do globo, como Amazônia, Mesoamérica, Ásia como, Comer e Harrower (2013), Opitz e Cowley (2013), Carson et al., (2014), Heckenberger et al. (2003), Heckenberger et al. (2007), Heckenberger et al. (2008), Evans et al. (2013), Fletcher (2009) e Fletcher (2011). Esses estudos evidenciam que a cidade atual compacta é resultado de um conjunto de processos antrópicos locais, regionais e globais, no qual o urbano se apresenta, provavelmente, como o principal e mais evidente “testemunho” deste processo.

Na busca de uma compreensão geográfica, portanto, complexa e dinâmica no espaço e no tempo, do que se pode vislumbrar enquanto “smart cities”, em tradução livre, cidades inteligentes, pontuar-se-ão alguns aspectos entendidos como necessários ao debate atual desta temática.

Cidades (inteligentes e resilientes?)

A origem das cidades remonta à metade do quarto milênio AC e, desde então, por diferentes perspectivas, se deu um crescimento contínuo e permanente, que tem suas origens nos aglomerados populacionais rurais como uma nova forma de assentamentos antrópicos, com impactos significativos na sociedade em escala global, contribuindo, de forma contundente, para mudanças de comportamento social, econômico, político e cultural. Estudos sobre a origem e história das cidades podem se encontrados de maneira pormenorizada em Reys (1965), Thernstrom e Sennett (1969), Hershberg (1978), Thrift (1993), Clark (2003), Ewen (2016), Lilley (2000) e Park e Burgess (2019).

Em uma análise geohistórica, é assertivo que as cidades mudaram significativamente a paisagem global em função dos seus modelos de apropriação dos territórios locais e sob suas influências regionais, é plausível afirmar que a cidade é o exemplo sensível das relações escalares na análise geográfica, basicamente onde o lugar perfaz conexão com o global e vice-versa.

As cidades se constituem como sistemas em contínuo processo de transformação, obviamente com cada núcleo urbano com a sua dinâmica própria, em função dos conjuntos de forças que ali exercem suas relações. Portanto, aspectos originários da Geografia ganham protagonismo, como a localização espacial, as dimensões territoriais, as dimensões populacionais, as forças motrizes da política e da economia e o conjunto histórico-cultural que deu base para as origens de cada núcleo urbano. Esses aspectos são cruciais para discutir, mais adiante, as questões de cunho ambiental.

Neste tópico se faz necessário esclarecer algumas terminologias utilizadas

e que acabam, muitas vezes, gerando distorções e adaptações de conceitos vinculados à própria humanidade e sendo utilizados em larga escala, sem muitas reflexões epistemológicas. Especialmente para os processos urbanos, é necessária uma breve análise sobre dois conceitos que têm sido utilizados de modo corriqueiro, o de Inteligência e o de Resiliência.

O conceito de inteligência, para a imensa maioria das pessoas, é elencado com várias características positivas de uma importante qualidade humana, as quais parecem pressupor a existência de um significado universal e unidimensional, portanto, compreensível a totalidade da sociedade (Bora e Pantelis, 2016); (Malaspina et al, 2001).

No entanto, meio científico, este consenso ainda não está consolidado, apesar de muitos teóricos concordarem que a inteligência é efetivamente um dos aspectos mais importantes da espécie humana, influenciando diretamente nas competências e habilidades de cada indivíduo. As discussões científicas mais acaloradas são de ordem questionadora sobre os aspectos e parâmetros metodológicos. (SPEARMAN, 1904); (BINET E SIMON, 1905); (WECHSLER, 1958); (GARDNER, 1983); (STERNBERG, 1985).

Embora o conceito de inteligência seja frequentemente utilizado para descrever as cidades inteligentes, é importante lembrar que ele pode ser subjetivo e influenciado por diversos fatores culturais e sociais. Além disso, a ênfase na tecnologia pode acabar deixando de lado outras dimensões importantes do desenvolvimento urbano, como a participação cidadã e a justiça social.

Há ainda, a preocupação de que a dependência excessiva de sistemas automatizados possa criar vulnerabilidades, colocando em risco a privacidade e a segurança dos cidadãos. Portanto, é preciso ter cautela ao utilizar o conceito de inteligência nas cidades inteligentes e garantir que as decisões levem em conta não apenas a eficiência tecnológica, mas também os valores e as necessidades da comunidade.

O conceito clássico e mais difundido para cidades inteligentes, também conhecido como smart cities, é baseado no uso de tecnologia digital da informação e comunicação (TDIC) com a proposta de melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, aumentar a eficiência dos serviços urbanos e reduzir o impacto ambiental. (GIFFINGER ET AL 2007); (CARAGLIU, 2011).

No caso específico das questões urbanas, cabe minimamente uma reflexão, pois o que tem sido difundido, em inúmeras plataformas, associa diretamente uma cidade inteligente em função do seu grau de integração tecnológica. Sob este "mantra" uma cidade qualquer que dispuser de uma quantidade maior de serviços tecnológicos é considerada mais inteligente que as demais. Considera-se esse fato um equívoco, pois tecnologia, por mais acessível que possa ser, não resulta necessariamente em aspectos urbanos, especialmente no que

diz respeito a redução de desigualdades socioespaciais. Com isso, associar cidades conectadas com inteligência, aponta para uma fragilidade conceitual.

Outro termo muito difundido e utilizado como uma demanda atual para as áreas urbanas, especialmente em função das mudanças climáticas globais, se refere a "Resiliência". Geralmente, as cidades atuais (frutos de um processo milenar de transformação da paisagem e produção do espaço) devem buscar ser "resilientes" a estas mudanças.

A definição de resiliência surge pelo experimento físico publicado por Young (1845), no qual o termo foi utilizado para explicar a resistência dos materiais para as áreas de física e engenharia. O experimento utilizou materiais extremamente resistentes a deformações do meio que, quando expostos à uma tensão e compressão extrema, retornam ao seu estágio original. A energia de deformação máxima que esse material é capaz de armazenar, sem sofrer deformações permanentes, depende, assim, de sua resiliência. Dito de uma outra maneira, a resiliência refere-se à capacidade de um material absorver energia sem sofrer deformação plástica ou permanente, sendo capaz de voltar à forma original, quando finda a causa da deformação. (TIMOSHENKO, 1953); (BRANDÃO, 2009); (BRANDÃO, et al, 2011).

Portanto, para uma definição "forjada" nas ciências dos materiais, na mecânica e na física, qualquer tipo de adaptação (e são muitas) pode gerar fragilidades e até equívocos. Utilizar o termo resiliência para uma cidade, pelas características intrínsecas de qualquer cidade e, especialmente, pela dinâmica complexa desses ambientes, é inadequado, pois uma cidade passa necessariamente um processo contínuo de transformação. Com muito rigor, se pode afirmar que as cidades não retrocedem aos estados de origem, pois existe um processo de transformação.

Dessa forma, as cidades atuais são produtos de um modelo de transformação pautado pela dinâmica econômica, social e política, as quais, de modo inerente, ocorrem um determinado recorte geomorfológico da paisagem antropogênica. É basicamente sob esta perspectiva, da correlação local entre o abiótico e o biótico, que se faz necessário tratar do tema das cidades, todas elas, independente de suas dimensões. Contudo, ao mesmo tempo, é preciso estar atento aos aspectos singulares de cada núcleo urbano, ou seja, evitar tratar de forma homogênea um sistema que parte de peculiaridades locais.

A abordagem ambiental (urbana)

Indiscutivelmente, a abordagem da análise ambiental ganhou evidência nas últimas cinco décadas, em movimentos crescentes no cenário internacional e com inúmeros avanços em termos de difusão científica, desenvolvimento metodológico, políticas públicas entre outros, o que leva a uma questão de debate que envolve, de modo singular, os núcleos urbanos, afinal de contas, atualmente no planeta Terra 55% da população vive em aglomerados urbanos (independente

do nível de urbanização), com estimativa de chegar a 68% em 2050 (ONU, 2021).

Esta observação se torna imprescindível na medida em que se pode propor uma analogia muito modesta, ao olhar para esses núcleos urbanos como sendo os pontos de escoamento de um volume significativo dos recursos naturais, uma vez que, nesta lógica econômica atual, é onde de dá o consumo dos bens e produtos oriundos do processo industrial.

Nessa construção, a análise do ambiental passa, necessariamente, pela abordagem de sistemas complexos, quando se busca encontrar as conexões entre as diferentes escalas espaciais que permeiam as dinâmicas urbanas, das cidades menores até as megalópoles mundiais. Certamente em cada realidade irão existir aspectos intrínsecos que podem não se repetir de forma semelhante em outras cidades, inclusive as de mesma escala de território e população, especialmente quando inseridas e observadas, nesse sistema, os pressupostos histórico-culturais.

Ao adentrar na temática ambiental especialmente vinculada as questões das dinâmicas urbanas, novamente alguns conceitos basilares devem ser retomados, ainda que de modo sucinto, porém, necessários para a discussão de mais adiante, isto é, a retomada da questão central vinculada a discussão de "cidades inteligentes". O principal diz respeito ao próprio conceito de ambiente e, em seguida, de alguns indicadores ambientais (propostos).

De acordo com a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1987), a terminologia adotada como "meio ambiente" pode ser entendida como conjunto de componentes naturais e artificiais que constituem o mundo físico, incluindo ar, água, solo, flora, fauna e seres humanos. Trata-se de um sistema complexo e interconectado, que fornece recursos naturais essenciais para a vida humana e a manutenção dos ecossistemas terrestres e aquáticos.

Outra definição muito utilizada, na literatura científica, trata o meio ambiente como sendo composto pelos elementos naturais e artificiais que cercam os seres vivos e pelos quais estes são influenciados. É o espaço onde ocorrem as interações entre os seres vivos e o ambiente físico, incluindo os impactos causados pela ação humana, como a poluição e a destruição dos ecossistemas naturais (CARSON, 1962).

Seguramente, o meio ambiente constitui um sistema complexo e interconectado, formado pelos elementos naturais e pelas atividades humanas. A relação entre esses elementos deve ser equilibrada para garantir o bem-estar das gerações presentes e futuras, evitando a exaustão dos recursos naturais e a degradação ambiental (MEADOWS et al., 1972).

Ao aplicar esse conceito para áreas urbanas, McDonnell et al. (1997) definiram que o meio ambiente urbano pode ser entendido como o ambiente construído e habitado pelos seres humanos, incluindo edifícios, ruas, praças, parques, áreas

verdes, infraestrutura urbana, transporte, sistemas de abastecimento de água e saneamento, bem como a interação entre esses elementos e as pessoas que os utilizam.

Já Frumkin et al. (2004) chamaram atenção de um ambiente urbano caracterizado por uma grande concentração de pessoas, atividades e infraestrutura em um espaço relativamente pequeno. Isso pode levar a uma série de desafios ambientais relacionados à saúde e ao bem-estar das pessoas que vivem nas cidades. Esse é um aspecto muito peculiar, pois, efetivamente, os núcleos urbanos geralmente se apresentam em espaços territoriais reduzidos, com fortes adensamentos populacionais, como é o caso brasileiro, no qual o somatório de todas as áreas urbanas, ocupa menos de 1% de todo o território nacional, onde vivem mais de 80% da população (FARIAS et al. 2017).

Grimm et al. (2008) trazem o conceito de um sistema complexo que inclui uma variedade de habitats e espécies de plantas e animais que podem fornecer uma série de serviços ecossistêmicos importantes, como a purificação do ar e da água e a regulação do clima.

No trabalho de Kong e Yin (2016), são apontadas as preocupações com um ambiente urbano projetado e gerenciado de forma sustentável, levando em consideração a conservação da biodiversidade, a eficiência energética, a gestão de resíduos, o uso de materiais de construção e a promoção de sistemas de alternativas de transporte.

Para países em desenvolvimento, como o caso brasileiro, o enfrentamento de desafios únicos relacionados à urbanização rápida e à industrialização (ambos precários), incluindo a poluição do ar e da água, a perda de habitats naturais e o desequilíbrio com os recursos naturais, demandam soluções colaborativas e inovadoras, as quais são necessárias para lidar com esses desafios. (WANG, et al., 2018).

Proposta de indicadores ambientais para gestão urbana

O debate a respeito de quais seriam os mais adequados indicadores para avaliar a situação das cidades, em todas as áreas de investigação, em muitas situações ainda não levou a um consenso e, tampouco, é esse o propósito desse texto, ou seja, chegar a uma concordância sobre indicadores ambientais em ambientes urbanos. Apenas é intenção, indicar aqueles que, neste momento, podem balizar minimamente ações de monitoramento ambiental em núcleos urbanos de qualquer porte.

Indicadores podem ser definidos como medidas quantitativas ou qualitativas que fornecem informações sobre um determinado fenômeno ou processo. Existem vários tipos de indicadores, com diferentes perspectivas e enfoques metodológicos, que podem ser utilizados em diferentes áreas, tais como saúde, educação, meio ambiente, economia, entre outras. (ALTMAN, 1998); (NARDO et

al., 2005); (EU, 2005); (OECD, 2008); (ONU, 2015).

A premissa para propor um conjunto de indicadores parte de entender os núcleos urbanos dentro da perspectiva das paisagens antropogênicas, como já foi mencionado anteriormente, portanto, é imperioso que os indicadores sejam entendidos como mecanismos de observação, mensuração, análise e gestão. Com essas premissas, e tendo como base publicações relevantes a respeito do tema como os de Dadvand et al. (2015), Bell et al. (2017), Luck et al. (2017), Pfister et al. (2017), Ibrahim et al. (2018), World Health Organization (2018), Lai et al. (2019), Marique et al. (2019), Adewole et al. (2020), Diop et al. (2020), Gong et al. (2020), Tonne et al. (2020), Tosepu et al. (2020), Zhang et al. (2020), Zhang et al. (2019), a figura 01 apresenta os indicadores que ora são propostos e, no quadro 1, é mostrada a lista dos mesmos indicadores e seus respectivos parâmetros mínimos de monitoramento.



Figura 01: Indicadores ambientais para gestão urbana.

A proposição dos indicadores mencionados na figura 01, não se sustenta apenas por uma lista de mensurações pontuais e individualizadas, é necessário, também, entender que estes indicadores formam um sistema integrado e dinâmico, os quais interagem, de modo permanente, no tempo e no espaço, portanto, não cabe elencar ponderações de maior importância a um ou a outro, todos estão nivelados em uma mesma hierarquia. Inclusive, é importante ressaltar que metodologias de análise hierárquica podem distorcer análises integradas, ao valorar um critério em detrimento de outros.

Esse tipo de análise e torna integrada na medida em que o conjunto de células espaciais articuladas partem, no seu $v=0$, de um mesmo nível hierárquico horizontal e vertical, mas, em função de demandas, processos, dinâmicas, momentos, lugares, escalas entre outros elementos, as células se movem intercambiando elementos e funções no sistema, no qual a posição hierárquica, tanto vertical quanto horizontal é efetivamente dinâmica.

Indicador	Parâmetros Mínimos de Monitoramento
Qualidade do ar	<ul style="list-style-type: none"> - Partículas suspensas (PM) - Dióxido de enxofre (SO₂) - Dióxido de nitrogênio (NO₂) - Monóxido de carbono (CO) - Ozônio (O₃)
Qualidade das águas e saneamento	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) - Oxigênio dissolvido (OD) - pH - Coliformes fecais - Turbidez
Oferta e consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda de energia (kW) - Consumo de energia (kWh) - Eficiência energética - Geração de energia - Qualidade da energia
Gestão de resíduos	<ul style="list-style-type: none"> - Geração de resíduos - Coleta de resíduos - Tratamento de resíduos - Destino dos resíduos - Educação e conscientização
Gestão do uso dos solos	<ul style="list-style-type: none"> - Características do solo - Capacidade de suporte do solo - Uso de água subterrânea - Cobertura do solo - Tipos de uso
Oferta de áreas verdes	<ul style="list-style-type: none"> - Área de parques e jardins - Acesso aos parques e jardins - Conectividade e continuidade - Qualidade dos espaços verdes - Serviços ecossistêmicos
Monitoramento do clima urbano	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura do ar - Umidade relativa do ar - Precipitação - Radiação solar - Vento
Transporte público	<ul style="list-style-type: none"> - Frequência - Pontualidade - Acessibilidade - Capacidade - Velocidade média
Segurança hídrica	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidade hídrica - Gestão de recursos hídricos - Vulnerabilidade às mudanças climáticas - Participação pública - Qualidade da água
Redução de gases do efeito estufa	<ul style="list-style-type: none"> - Inventários de emissões - Metas de redução de emissões - Medidas de mitigação - Monitoramento de eficiência energética - Monitoramento do uso de transportes
Controle da poluição sonora	<ul style="list-style-type: none"> - Níveis de ruído - Fontes de ruído - Legislação e normas - Monitoramento de áreas sensíveis - Medidas de mitigação
Governança legislativa e executiva	<ul style="list-style-type: none"> - Transparência - Participação pública - Responsabilidade - Cooperação - Efetividade
Equilíbrio da biodiversidade	<ul style="list-style-type: none"> - Cobertura vegetal - Espécies nativas - Conectividade ecológica - Qualidade da água e do solo - Programas de conservação e manejo

Quadro 1: Lista de indicadores ambientais para ambientes urbanos, e os parâmetros mínimos necessários para cada indicador.

Com esse conjunto de indicadores propostos, o monitoramento dos parâmetros indicados demanda, por parte dos gestores municipais, necessariamente executar o dever de casa, realizando um excelente diagnóstico de seus núcleos urbanos, com mapeamento adequado de todas as informações, desde geologia até serviços elementares, pois não se pode pensar em propor “cidades inteligentes” sem conhecer os elementos basilares de um determinado território.

Neste sentido, ressalta-se ainda, a necessidade de repensar as práticas de gestão urbana, pois é sabido que, geralmente, as cidades priorizam setores, classicamente, as áreas centrais do núcleo urbano, uma vez que o “retorno visual” perante o conjunto da sociedade pode causar maior impacto, no entanto, enquanto os gestores públicos municipais não observarem a cidade como um todo, um sistema vivo e pulsante e que cada via repercute em todo o sistema, dificilmente haverá “cidades inteligentes” especialmente do ponto de vista ambiental.

Para dar suporte legal aos entes federados (Estados e Municípios), em 2012 foi aprovada e promulgada a Lei 12.608/2012, que estabelece o marco nacional para defesa civil, a qual, em suas diretrizes e objetivos (Figura 02), estabelece um arcabouço de demandas vinculadas aos municípios que, se levadas a cabo, podem seguramente, reformular a gestão das cidades em todos os níveis.



Figura 02: Diretrizes e objetivos da lei 12.608/2012.

De acordo com a legislação citada, compete aos municípios identificar e mapear as áreas de risco de desastres; promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas; manter a população informada sobre áreas de risco e ocorrência de eventos extremos, bem como sobre protocolos de prevenção e alerta e sobre as ações emergenciais em circunstâncias de desastres; manter a União e o Estado informados sobre a ocorrência de desastres.

Ainda que a mencionada lei tenha como foco específico a defesa civil, é notório que o município que se adequar a estas determinações irá ter em suas

bases de dados informações de elevada relevância para poder gerir seu território em qualquer tema.

Ao observar as figuras 01 e 02, é nítida a correlação existente entre o que se determina do ponto de vista legal e os indicadores ambientais propostos, pois ao executar o que se estabelece pela legislação será fácil subsidiar o monitoramento urbano.

A conservação dos ambientes urbanos é essencial para a gestão de cidades sustentáveis. Ao preservar o patrimônio cultural, histórico e ambiental das cidades, contribui-se para a criação de um ambiente saudável e agradável para os moradores e visitantes, além de promover o turismo e a economia local. Uma cidade que valoriza suas áreas verdes, monumentos, edifícios históricos e espaços públicos é uma cidade que cuida do bem-estar de seus habitantes e investe em um futuro sustentável.

As “cidades inteligentes”, por sua vez, são aquelas pautadas pelas prioridades na utilização de tecnologias avançadas para aperfeiçoar o atendimento das demandas da população e, espera-se com isso, melhorar de algum modo a qualidade de vida de seus moradores e a eficiência de seus serviços públicos. Essas tecnologias podem ser aplicadas em diversas áreas, como transporte, segurança, iluminação pública, gestão de resíduos, entre outras. Ao utilizar soluções inovadoras para resolver problemas urbanos, as cidades também contribuem para a redução do impacto ambiental e para a promoção do desenvolvimento sustentável.

Portanto, as cidades devem observar com atenção, os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS). Pois incluem ações para combater a pobreza, promover a igualdade de gênero, garantir a saúde e o bem-estar das pessoas, reduzir as desigualdades sociais e econômicas, além de proteger o meio ambiente e a biodiversidade. As cidades que buscam atingir esses objetivos estão investindo em soluções sustentáveis para os problemas urbanos, como a utilização de energias renováveis, a melhoria da qualidade do ar e da água, a gestão inteligente dos resíduos e a promoção da mobilidade urbana sustentável. Dessa forma, as cidades podem se tornar um importante centro para a promoção do desenvolvimento sustentável em nível local e global.

Considerações finais

No contexto em discussão, sugere-se abordar os desafios e potencialidades desencadeados pela política pública instituída pela lei 12.608/2012, mais que um mero instrumento jurídico, mais que uma norma ou diretriz e, sim, como uma importante oportunidade para a gestão urbana se firmar como parâmetro norteador, capaz de apresentar as abordagens integradoras necessárias para atendimento das demandas que já estão postas e que, indiscutivelmente, se avolumam em um cenário futuro de curto e médio prazo.

Neste sentido, não resta dúvida que o maior desafio seja resgatar

efetivamente a capacidade articuladora da ciência, na qual não cabem mais fragmentações por especialidades, quando se demandam interconexões, em um sistema complexo e dinâmico que exige respostas efetivamente articuladas.

O conjunto de indicadores propostos tem como finalidade apontar uma “espinha-dorsal”, para que as cidades possam estruturar suas demandas e atividades, de modo a proporcionar ao conjunto da paisagem um equilíbrio necessário a todos os seres vivos que interagem com os respectivos núcleos urbanos. Ou seja, é necessária uma abordagem menos antropocêntrica.

Portanto, olhar os núcleos urbanos, desde sua base de sustentação até as dinâmicas de poder e políticas, pode dar suporte para, efetivamente, termos cidades com a alcunha de “inteligentes”, pois não basta disponibilizar sinais de “wifi”, as sirenes para alertar a comunidade dos eventos extremos, se a população continuar vivendo em áreas de risco.

Desta forma, as cidades podem se concentrar mais em processos de adequação aos seus sítios locacionais, tendo como horizonte as probabilidades de mudanças globais e as demandas da sociedade, ou seja, “cidades inteligentes” serão aquelas que olharem para suas especificidades para o equilíbrio socioambiental.

Referências

- Adewole, A. T., et al. (2020). Urban solid waste management in Africa: Status, challenges, and opportunities. *Journal of Environmental Management*, 264, 110422.
- Altman, M. (1998). Measuring government performance: Lessons from international indicators. *Public Administration Review*, 58(3), 194-200. doi: 10.2307/977279.
- Bell, M. L., et al. (2017). Ambient air pollution and health in Latin America: The role of exposure assessment. *Environmental Health Perspectives*, 125(8), 087003.
- Binet, A., & Simon, T. (1905). Methodes nouvelles pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux [New methods for the diagnosis of the intellectual level of abnormal individuals]. *L'Année Psychologique*, 12, 191-244.
- Bora, E., & Pantelis, C. (2016). Meta-analysis of social cognition in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): Comparison with healthy controls and autistic spectrum disorder. *Psychological Medicine*, 46(4), 699-716.
- Brandão, J. M. (2009) Resiliência: de que se trata? o conceito e suas implicações. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas.
- Brandão, J. M.; Mahfoud, M.; Gianordoli-Nascimento, I. F. (2011). A construção do conceito de resiliência em psicologia: discutindo as origens. M.G. Belo Horizonte.
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of*

Urban Technology, 18(2), 65-82.

Carson, J. F., Whitney, B. S., Mayle, F. E., Iriarte, J., Prümers, H., Soto, J. D., & Watling, J. (2014). Environmental impact of geometric earthwork construction in pre-Columbian Amazonia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(29), 10497-10502.

Carson, R. (1962). *Silent spring*. Houghton Mifflin.

Clark, D. (2003). *Urban world/global city*. Psychology Press.

Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.

Coningham, R., Gunawardhana, P., Manuel, M., Adikari, G., Katugampola, M., Young, R., ... & Batt, C. (2007). The state of theocracy: defining an early medieval hinterland in Sri Lanka. *antiquity*, 81(313), 699-719.

Dadvand, P., et al. (2015). Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(26), 7937-7942.

Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray.

Diop, S., et al. (2020). Assessment of water quality index in West African urban rivers: A case study of Dakar City (Senegal). *Environmental Science and Pollution Research*, 27(8), 7972-7987.

Ellis E, Maslin M, Boivin N, et al. (2016) Involve social scientists in defining the Anthropocene. *Nature* 540:192–193.

Ellis EC (2011) Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science* 369: 1010–1035.

Ellis EC (2015) Ecology in an anthropogenic biosphere. *Ecological Monographs* 85: 287–331.

Ellis EC and Haff PK (2009) Earth science in the Anthropocene: New epoch, new paradigm, new responsibilities. *EOS Transactions* 90: 473.

European Commission. (2005). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-05-013-EN.PDF/2f3e930c-0e1b-47b4-b78e-dce1f2a2d777>.

Evans, D. H., Fletcher, R. J., Pottier, C., Chevance, J. B., Soutif, D., Tan, B. S., ... & Bornazian, G. (2013). Uncovering archaeological landscapes at Angkor using lidar. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12595-12600.

Ewen, S. (2016). *What is urban history?* John Wiley & Sons.

- Farias, A. R., Mingoti, R., Valle, L. D., Spadotto, C. A., & Lovisi Filho, E. (2017). Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil.
- Fletcher, R. (2009). Low-density, agrarian-based urbanism: A comparative view. *Insights*, 2(4), 1-19.
- Fletcher, R. (2011). Low-density, agrarian-based urbanism. *The comparative archaeology of complex societies*, 285.
- Frumkin, H., Frank, LD, & Jackson, RJ (2004). *Expansão urbana e saúde pública: projetando, planejando e construindo comunidades saudáveis*. Ilha Imprensa.
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., & Meijers, E. (2007). *Smart cities: Ranking of European medium-sized cities*. Final report. Vienna University of Technology.
- Gong, Y., et al. (2020). Urban land use change and its effects on the carbon storage of urban forests in Beijing, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48, 126582.
- Grimm, NB, Faeth, SH, Golubiewski, NE, Redman, CL, Wu, J., Bai, X., & Briggs, JM (2008). Mudança global e a ecologia das cidades. *Science*, 319(5864), 756-760.
- Heckenberger, M. J., Christian Russell, J., Toney, J. R., & Schmidt, M. J. (2007). The legacy of cultural landscapes in the Brazilian Amazon: implications for biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1478), 197-208.
- Heckenberger, M. J., Kuikuro, A., Kuikuro, U. T., Russell, J. C., Schmidt, M., Fausto, C., & Franchetto, B. (2003). Amazonia 1492: pristine forest or cultural parkland?. *Science*, 301(5640), 1710-1714.
- Heckenberger, M. J., Russell, J. C., Fausto, C., Toney, J. R., Schmidt, M. J., Pereira, E., ... & Kuikuro, A. (2008). Pre-Columbian urbanism, anthropogenic landscapes, and the future of the Amazon. *science*, 321(5893), 1214-1217.
- Hershberg, T. (1978). The new urban history: toward an interdisciplinary history of the city. *Journal of Urban History*, 5(1), 3-40.
- Ibrahim, G., et al. (2018). Carbon footprint of urban water cycle in a tropical city: A case study of Kano, Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), 9981-9991.
- Johanson, D. C., & Edgar, B. (2006). *From Lucy to language: Revised, updated, and expanded*. Simon & Schuster.
- Lai, C. Y., et al. (2019). Urban energy consumption and CO2 emissions in Beijing: Current status and future outlook. *Energy Policy*, 125, 87-97.

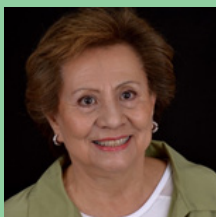
- Lewin, R. (1997). *Bones of contention: Controversies in the search for human origins*. University of Chicago Press.
- Li, L., et al. (2020). Urban form, energy consumption, and CO2 emissions in Chinese megacities. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120431.
- Lilley, K. D. (2000). Mapping the medieval city: plan analysis and urban history. *Urban History*, 27(1), 5-30.
- Liu, Y., et al. (2020). Exploring the nexus between urbanization, energy consumption, and CO2 emissions: Evidence from a panel of BRICS countries. *Energy Reports*.
- Luck, M., et al. (2017). Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), 7575-7580.
- Malaspina, D., Harlap, S., Fennig, S., Heiman, D., Nahon, D., Feldman, D., . . . Susser, E. (2001). Advancing paternal age and the risk of schizophrenia. *Archives of General Psychiatry*, 58(4), 361-367.
- Marique, A. F., et al. (2019). Exploring the relationship between public transport use and well-being in urban areas. *Journal of Transport Geography*, 74, 264-271.
- McDonnell, MJ, Pickett, STA, Groffman, P., Bohlen, P., Pouyat, RV, Zipperer, WC, ... & Hobbie, SE (1997). Processos ecossistêmicos ao longo de um gradiente urbano-rural. *Ecologia Urbana: Uma Perspectiva Internacional sobre a Interação entre Humanos e Natureza*, 125-148.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *The limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. Universe Books.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2005). *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Paris: OECD Publishing. doi: 10.1787/9789264013100-en
- OECD. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. Retrieved from <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264043466-en.pdf?expires=1620083174&id=id&accname=guest&checksum=7612617BFFB2C2D3B9B8E27B7FED1576>
- Opitz, R. S., & Cowley, D. C. (Eds.). (2022). *Interpreting archaeological topography*. Oxbow books.
- Organização das Nações Unidas (ONU). (2021). *World Urbanization Prospects: The 2021 Revision*. <https://population.un.org/wup/>.
- Park, R. E., & Burgess, E. W. (2019). *The city*. University of Chicago Press.
- Pfister, S., et al. (2017). A comprehensive review of water footprint accounting. *Environmental Science and Technology*, 51(23), 13561-13578.

- Reps, J. W. (1965). *The making of urban America: a history of city planning in the United States*.
- Schellnhuber HJ (1999) 'Earth system' analysis and the second Copernican revolution. *Nature* 402: C19–C23
- Sorensen, A., & Okata, J. (2011). Introduction: Megacities, urban form, and sustainability. *Megacities: Urban form, governance, and sustainability*, 1-12.
- Spearman, C. (1904). "General intelligence," objectively determined and measured. *American Journal of Psychology*, 15(2), 201-292.
- Steffen W, Grinevald J, Crutzen P, et al. (2011) The Anthropocene: Conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369: 842–867.
- Steffen W, Leinfelder R, Zalasiewicz J, et al. (2016) Stratigraphic and Earth system approaches to defining the Anthropocene. *Earth's Future* 4: 324–345.
- Steffen W, Sanderson A, Tyson P, et al. (2004) *Global Change and the Earth System: A Planet under Pressure*. Berlin: Springer.
- Sternberg, R. J. (1985). *Beyond IQ: A triarchic theory of human intelligence*. New York: Cambridge University Press.
- Stringer, C. B., & Andrews, P. (2005). *The complete world of human evolution*. Thames & Hudson.
- Thernstrom, S., & Sennett, R. (1969). *Nineteenth-century cities: essays in the new urban history*. Yale University Press.
- Thrift, N. (1993). An urban impasse? *Theory, Culture & Society*, 10(2), 229-238.
- Thurston, T. L., & Fisher, C. T. (2007). Seeking a richer harvest: an introduction to the archaeology of subsistence intensification, innovation, and change (pp. 1-21). Springer US.
- Timoshenko, S. P. (1953). *History of strength of materials: With a brief account of the history of theory of elasticity and theory of structures*. New York: McGraw-Hill.
- Tonne, C., et al. (2020). Urban green space and health: A review of evidence. In *Health Effects of the Urban Environment* (pp. 191-214). Springer.
- Tosepu, R., et al. (2020). Correlation between weather and Covid-19 pandemic in Jakarta, Indonesia. *Science of The Total Environment*, 725, 138436.
- United Nations. (2015). *Indicators for Sustainable Development Goals*. Retrieved from <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>
- Wang, C., Engels, A., & Wang, Z. (2018). Overview of research on China's transition to low-carbon development: The role of cities, technologies, industries and the energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1350-1364.

- Waters CN, Zalasiewicz J, Summerhayes C, et al. (2016) The Anthropocene is functionally and stratigraphically.
- Wechsler, D. (1958). The measurement and appraisal of adult intelligence (4th ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Widgren, M. (2016). Landesque Capital: The Historical Ecology of Enduring Landscape Modifications.
- World Health Organization. (2018). Environmental noise guidelines for the European Region.
- Yin, H., Kong, F., Hu, Y., James, P., Xu, F., & Yu, L. (2016). Assessing growth scenarios for their landscape ecological security impact using the SLEUTH urban growth model. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(2), 05015006.
- Young KR (2015) Biogeography of the Anthropocene: Domestication. *Progress in Physical Geography* 40:161–174.
- Young, T. (1845). *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts (Miscellaneous Papers, Reprinted with Corrections) (Vol. 1)*. Taylor and Walton.
- Zhang, Y., et al. (2019). A review on urban soil erosion processes and management. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(15), 15239-15250.
- Zhang, Y., et al. (2020). Spatial-temporal variations of urban soil heavy metal pollution and risk assessment: A case study in central Beijing, China. *Environmental Pollution*, 266(Pt 1), 115116.

CAPÍTULO 4

O desenho da cidade e o conforto térmico ambiental: estratégias para obtenção de formas urbanas com maiores alternativas ecotérmicas.



Marta Adriana Bustos Romero

Professora Titular UnB. Mestre Planejamento Urbano, Doutora Arquitetura, Pós Doutora Landscape Architecture. Lider Grupo de Pesquisa A Sustentabilidade em Arquitetura e Urbanismo, coordena Laboratório de Sustentabilidade Aplicada – LaSUS e Curso de Especialização, Reabilita. Autora: Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano, Arquitetura Bioclimática do Espaço Público, Arquitetura do Lugar. Coordenou a elaboração dos Projetos Diretores Urbanísticos para os Campi Gama e Ceilândia da UnB. Coordenou pesquisa com MS para a reabilitação ambiental da Hemorrede e coordena com MS pesquisa de acessibilidade de Centros Especializados em Reabilitação.

O desenho da cidade e o conforto térmico ambiental: estratégias para obtenção de formas urbanas com maiores alternativas ecotérmicas.

Marta Adriana Bustos Romero

Apresentação

Neste capítulo, tecemos algumas reflexões acerca do que *Habitar no Planalto*¹ significa, na busca de formas urbanas mais favoráveis para um urbanismo sustentável e de estratégias para a obtenção do conforto. É próprio de Brasília forjar uma mirada especial da divisão rítmica do tempo entre uma estação de seca e uma época de chuva, pois, quando a cidade foi projetada, procurou-se acomodar seu desenho ao sítio, visando recriar as características especiais desse por meio da valorização das perspectivas e da introdução do elemento água, que faltava. A Capital projetada visando à otimização ambiental e a sustentabilidade da malha urbana, na *Busca das formas urbanas mais favoráveis*, leva-nos a refletir acerca do conjunto de geometrias urbanas com dimensões variadas dos edifícios no espaço que abriga a capital da república. Sabemos que o urbano apresenta variados desempenhos térmicos, indicativos, respectivamente, da capacidade natural do construído para aquecer, quando exposto a energia solar, e para resfriar, através das perdas; sabemos também que essas trocas dependem da forma da estrutura urbana, fundamental no controle das *Ilhas de calor Urbanas*. A proporção entre as alturas dos edifícios e os espaços existentes entre eles, abertos, pavimentados e impermeáveis, possui relação direta com o impacto da radiação solar no clima urbano. Esse efeito, associado à poluição, à redução dos espaços verdes e ao calor antropogênico liberado pela indústria, pela frota de veículos, e pelas atividades humanas, contribui para o estabelecimento de elevações de temperaturas, designadas ilhas de calor urbanas, que são especialmente problemáticas para as cidades tropicais, pois aumentam a demanda de energia no verão e afetam a saúde e o conforto térmico. A fim de evitar tal situação, a concepção original criada por Lucio Costa para Brasília, *A superquadra como a unidade morfológica por excelência*, vendia ao usuário a projeção para construir edifícios habitacionais sobre pilotis; em outras palavras, oferecia apenas o direito de construir num sistema coletivo de propriedade do solo ao redor de um parque, assim dotando de conforto ambiental e grande uniformidade o conjunto. Todavia, nossos estudos mostram o fechamento ao redor dos edifícios,

¹ Os itálicos se referem aos nomes das seções deste capítulo.

uma *Deturpação do Projeto original* na qual as intervenções no solo público são constantes. Os projetos mais deturpados correspondem as superquadras novas, na Asa Norte, que implantaram uma vegetação pouco adequada ao lugar, que alinha desajeitadamente uma série de palmeiras em uma composição estética duvidosa e que não fornece sombra, nem frutos, nem deleite visual. O paisagismo brasiliense atual abandonou os elementos básicos de Lucio Costa: "árvores de grande porte", solo público aberto, arborizado, gramado, permeável e desimpedido para o ir e vir - originalíssima concepção de *espaço urbano com significado*, que definitivamente auxilia o desenvolvimento de uma relação com o ambiente. Um urbanismo assim pensado é sustentável porque projeta entornos que favorecem a constituição de comunidades. Os espaços urbanos que admiramos por sua beleza e harmonia estão em regiões que possuem grande adaptabilidade e visibilidade, fatores fundamentais da sustentabilidade.

Encerramos essas reflexões na seção *Estratégias para a obtenção do conforto*, cuidando para que o ato de projetar considere as condições do ambiente, evitando a perda evidencial do entorno e colaborando para a percepção da cidade integrada nos processos naturais que sustentam a vida, ambos fatores que podem influenciar significativamente o desempenho térmico da cidade e, conseqüentemente, o conforto térmico de seus ocupantes. O conforto bioclimático de determinado ambiente externo, ou interno, envolve diversas variáveis que influenciam por sua vez a sensação de conforto humano e a avaliação que o usuário faz do ambiente: nesse sentido, devemos considerar que os *Índices de Conforto para Espaços Abertos*, apresentados na última seção, são fundamentais para a concepção dos edifícios e a adoção de estratégias de adequação em função das atividades realizadas, da sua vestimenta e das variáveis climáticas do local.

Habitar no Planalto: a divisão rítmica do tempo entre uma estação de seca e uma época de chuva.

Habitar no Planalto é estar em constante contato com o céu e contemplar o horizonte e a paisagem. A paisagem não representa algo dominado e controlado, ou algo desumanamente poderoso, e sim uma manifestação cósmica capaz de oferecer abrigo à vida cotidiana que ao mesmo tempo sinaliza a sua transcendência.

A divisão rítmica do tempo entre uma estação de seca e uma época de chuva é elemento fundamental da estruturação do lugar. Na seca, o cerrado se torna uma paisagem árida que aumenta o contraste entre o verde-escuro das matas de galeria e as cores amareladas dos campos e cerrados ressequidos. O céu absolutamente livre de nuvens se torna cinzento e estagnado. Na época das chuvas o céu varia de azul brilhante a inteiramente coberto por nuvens baixas de chuva e a vegetação recupera o viço e o verde.

Em Brasília existe uma experiência diária, quase tangível, de testemunhar pela manhã o nascer do sol atrás de um horizonte visível, acompanhando seu trajeto ao longo da abóbada celeste e seu crepúsculo ao final do dia.

O que dá ao “homem de Brasília” a sensação de segurança no lugar e no domínio visual sobre a paisagem (céu e terra) é a facilidade que a paisagem oferece de se fazer compreender através de relações espaciais claras entre os seus elementos, ou seja, sua legibilidade.

Brasília exemplifica a relação do ambiente edificado com o sítio, nessa especial situação que é construída quando se criam lugares, quer dizer, quando aflora o *genius loci*. Brasília que, quando projetada, soube acomodar seu desenho ao sítio e soube recriar as características especiais desse, com a valorização das perspectivas e a introdução do elemento que faltava, a água. A configuração urbana de Brasília lhe garante uma excepcional qualidade de orientabilidade que se apoia em princípios “cósmicos” de localização no espaço, evidente na localização dos lugares e objetos em relação aos eixos abstratos que arquetipicamente estruturam a abóbada celeste e definem os quatro pontos cardeais (ROMERO, 2004).

A busca das formas urbanas mais favoráveis

A busca das formas urbanas mais favoráveis que visam a otimização do ponto de vista ambiental e da sustentabilidade da malha urbana passa pela análise do conjunto de geometrias urbanas com dimensões variadas dos edifícios, assim como pelo espaçamento entre os mesmos.

O urbano apresenta variados desempenhos térmicos, com base em dois indicadores físicos: a absortância e a emitância efetiva do edificado. Esses parâmetros são indicativos, respectivamente, da capacidade natural de um edifício inserido numa malha urbana para “aquecer”, através da exposição solar do mesmo, e para “resfriar” através das perdas por trocas de radiação de onda longa.

No entanto, as trocas dependem da forma da estrutura urbana. A poluição pode também contribuir para a retenção de calor, ao minimizar as trocas radiativas entre os edifícios e a abóbada celeste. Quanto à insolação, um dos elementos mais importantes do clima, essa atinge a superfície terrestre, sendo parte absorvida e parte refletida, em proporções variáveis consoante às propriedades dos materiais onde incide. O calor total absorvido pelas estruturas urbanas irregulares e de elevada densidade fica assim retido e é dificilmente reenviado, provocando um aumento da temperatura urbana, quando convertido em calor sensível (Fig. 1). Se a radiação incidente é absorvida por uma superfície seca, transforma-se em calor sensível, com um conseqüente aumento da temperatura, enquanto as superfícies úmidas e as folhas das plantas a convertem em calor latente (OKE et al., 2017).

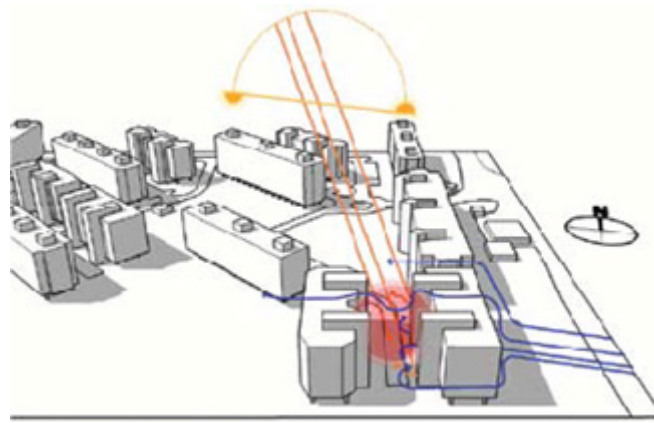


Figura 1. Calor armazenado durante o dia. SQN 309. Fonte: Romero, 2011, p. 69

Ao longo de um ciclo diário, as superfícies que constituem a rua experimentam diferenças espaciais e temporais de temperatura, devido aos diferentes níveis de exposição solar. Os materiais de construção são também, tal como a vegetação, elementos com uma elevada absorção e baixa refletividade e, como tal, uma grande parte da radiação solar que neles incide é absorvida.

A elevada capacidade térmica dos materiais de construção promove o armazenamento de calor. Os fenômenos evapotranspirativos são, no entanto, consideravelmente reduzidos devido à impermeabilidade e ao baixo teor de umidade dos materiais.

A proporção entre as alturas dos edifícios e os espaços existentes entre eles exerce influência direta sobre o impacto da radiação solar no clima urbano. Essa relação se denomina W/H (onde W é o espaço horizontal entre edificações e H é a altura delas) e deve variar de acordo com a densidade da área avaliada. A geometria urbana é fundamental no controle da ilha de calor, por ter influência no processo de absorção da radiação solar e da radiação de ondas longas, emitidas pelas superfícies dos edifícios e do solo, na redução das perdas de calor devido aos ventos e na produção antropogênica de calor (ROMERO, 2015).

A associação entre impermeabilização do solo pela baixa infiltração de água no meio urbano, a supressão vegetal e o aumento do escoamento superficial também se manifesta negativamente nas alterações dos microclimas e dos climas locais. A redução da umidade relativa do ar no meio urbano se desdobra na acentuação da amplitude térmica diária e no desconforto térmico urbano.

A ocupação do solo numa cidade é fundamentalmente caracterizada por uma elevada densidade edificada e por uma área aberta pavimentada e impermeável. Essas modificações superficiais e atmosféricas alteram o clima local, tornando as cidades mais quentes que as áreas não urbanizadas ao redor. Esses elementos, por si só, podem dar origem a uma elevação na temperatura de alguns graus centígrados. Esse efeito, associado à poluição, à redução dos espaços verdes e ao calor antropogênico libertado pela indústria, veículos, e atividades

humanas, contribui para o estabelecimento de um campo mais elevado de temperaturas, designado como ilha de calor urbana - ICU e pode ser problemático para as cidades tropicais, pois aumenta a demanda de energia no verão, afeta a saúde e o conforto térmico.

Como exemplo, podemos citar o cenário simulado da implantação dos edifícios da Superquadra 500, cujo resultado mostra que irá prejudicar a ventilação urbana tanto no interior da própria quadra, como também no seu entorno imediato; o estudo revela o aumento significativo de mais de 10°C na temperatura da superquadra (Faria; Romero, 2021). Além disso, a ventilação sofrerá em termos de velocidade e direção. Os parâmetros analisados indicam, portanto, a nova Superquadra como uma área potencial de ilha de calor urbana para o bairro existente, que já apresenta padrões menores de sustentabilidade do que os projetados por Lucio Costa.

Ilhas de calor urbanas

Devido às mudanças climáticas globais, e considerando que as iniciativas de mitigação dos efeitos nocivos à saúde humana decorrentes dessas mudanças se apresentam de forma discreta e não acompanham a urgência da crise ambiental, pesquisamos padrões de ocupação que se aproximam de um ambiente sustentável. Realizamos, no âmbito do Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e Urbanismo – LaSUS, da Universidade de Brasília, estudos das ICU com transectos móveis em conjunto com imagens termográficas – no contexto específico do Plano Piloto e em 8 Regiões Administrativas do Distrito Federal: Paranoá, Itapoã, Sudoeste, Mangueiral, Areal, Arniqueiras, Vila Telebrasília e Lucio Costa (ROMERO et Al, 2019). Para realizar esse estudo propôs-se a análise das geometrias urbanas que aprisionam o calor e das geometrias urbanas que diminuem a velocidade dos ventos (Figura 2), levando em conta que as superfícies urbanas são mais escuras que as não urbanas e, portanto, absorvem e armazenam o calor do sol em conjuntos e configurações espaciais impermeáveis e estanques. Nessas configurações, a água de chuva escorre pela sua superfície e não consegue dissipar o calor por meio da evaporação (ou evapotranspiração quando existe verde). Em outras palavras, não há umidade disponível para dissipar o calor do sol em decorrência da escassa vegetação das vias e das praças existentes, se comparadas com as morfologias características dos bairros de classe média e das áreas abastadas da cidade.

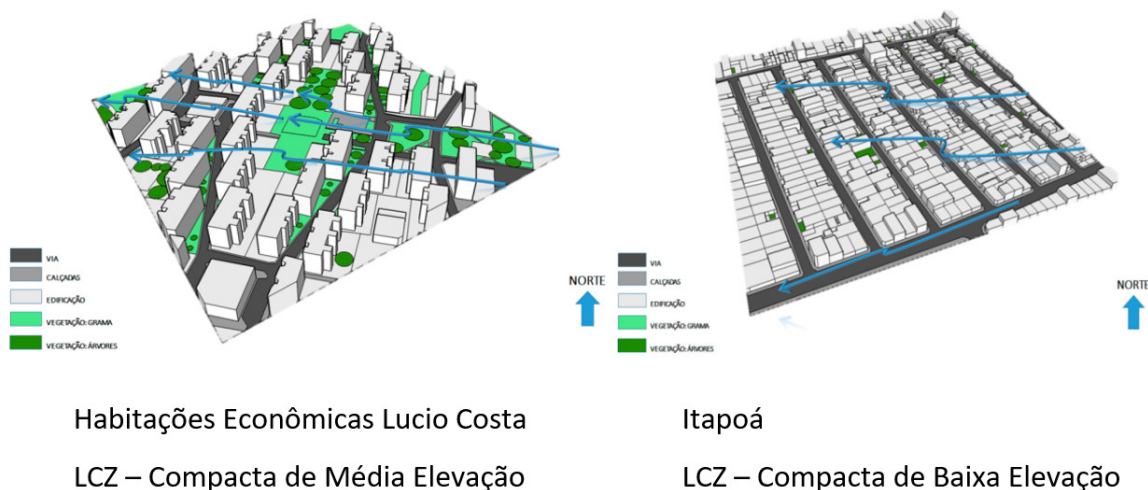


Figura 2. Esquema de fluxos dos ventos nas cidades do estudo: Lucio Costa e Itapoá. Fonte: Romero et al, 2019, p. 113

Segundo estudos da Secretaria de Meio Ambiente², significativas mudanças estão sendo detectadas nos últimos 50 anos no clima do DF e da Região Integrada de desenvolvimento do DF e Entorno - RIDE, confirmando as sinalizações das projeções climáticas, tanto estatísticas quanto dinâmicas. Verificou-se, assim, um aumento do número de dias com umidade relativa abaixo de 30%, e um aumento de 2,1°C na mínima da temperatura máxima e 0,85°C na máxima temperatura máxima, assim como uma diminuição da amplitude térmica entre as temperaturas máxima e mínima. O clima está mudando e intensificando seus eventos, os verões têm sido mais quentes e os invernos mais secos.

Nesse contexto, é preocupante essa recente perda e a decadência dos espaços públicos em Brasília, quando fecha-se, literalmente, o espaço público e o clima de convivência cidadã na capital da República, comprometendo a sustentabilidade do espaço urbano. A questão é preocupante pois todo o projeto do Lucio Costa está sendo deturpado.

As consequências negativas associadas ao clima se traduzem nas alterações microclimáticas provocadas pela redução da umidade relativa no meio urbano, na acentuação da amplitude térmica diária e no desconforto térmico urbano. Assim, muitos estudos focam na relação entre índices de vegetação e temperatura do ar e de superfície para avaliação do efeito de resfriamento e do conforto térmico humano, especialmente no verão (FERREIRA, 2019).

Para monitoramento do estresse térmico aos quais os habitantes das cidades estão sujeitos é comum a utilização de índices de conforto térmico urbano. Nesse sentido, os estudos de Werneck (2022) nos trazem os dados do portal Lobe-lia Earth, que acompanham como capitais e populações sofrerão com o estresse térmico, tendo 2010 como ano-base de referência e projeções que vão até 2090.

Para calcular os valores futuros do índice utilizado para a ranqueamento é o

² Mudanças climáticas no DF e Região Integrada de Desenvolvimento do DF e Entorno - RIDE. Secretaria de Meio Ambiente – GDF, Brasília, 2016, páginas 90 e 91.

UTCI - Índice Climático Universal UTCI, o portal utilizou projeções climáticas CMIP5 do modelo ACCESS1-0, sob o cenário socioeconômico RCP8.5. As posições do ranqueamento são calculadas observando diferentes meses do ano e horas do dia em que o índice UTCI pode atingir valores máximos ou mínimos. Dentre as capitais sul-americanas, Brasília lidera entre o período de 2030 a 2070 como a capital com maior incremento na escala de estresse térmico. No ranqueamento de maiores índices de estresse térmico dessas capitais, Brasília ocupa o sexto posto. (WERNECK, 2022, p.96).

Mais da metade da população mundial vive em cidades onde, para acomodar as necessidades da população urbana e suas atividades, superfícies naturais foram convertidas em superfícies impermeáveis. As nossas pesquisas mostram maior frequência do intervalo de temperatura do ar entre 19 °C a 20 °C. Esses valores caracterizam o clima ameno do DF que, de acordo com a carta bioclimática da NBR 15220-3 (ABNT, 2003), possui a maioria das horas do ano na zona de conforto.

A superquadra como a unidade morfológica por excelência

Na concepção original, num sistema coletivo de propriedade do solo, vendeu-se ao usuário apenas o direito de construir edifícios habitacionais sobre pilotis, ao redor de um parque. Concedendo grande uniformidade ao conjunto urbano, quase todas as 120 superquadras do Plano Piloto apresentam um arranjo de volumes ortogonais dispostos perpendicularmente entre si, distribuídos em uma área predominantemente ajardinada, privilegiando a identificação da superquadra como a unidade morfológica por excelência. O térreo dos prédios foi concebido menos como um espaço privativo e mais como um prolongamento das áreas ajardinadas.

Concebido inicialmente como um prolongamento dos jardins, oferecendo tanto sombra como proteção da chuva, o térreo vem sendo usado, cada vez mais, para estabelecer fronteiras nítidas entre o público e o privado no interior das superquadras; o entorno imediato fica delimitado com jardins diferenciados e cercas vivas.

A desarticulação entre andar térreo e seu entorno é acentuada com o requisito de garagens no subsolo e a ocupação na superfície da área pública adjacente ao bloco, com as suas rampas de acessos externas ao prédio, acentuadas, na maioria das vezes, pela elevação do térreo, permitindo, assim, as aberturas de ventilação permanentes do subsolo, que a legislação exige. O aumento do poder aquisitivo dos moradores do Plano Piloto forçou a ampliação do número de vagas para carros nas garagens do subsolo, acarretando, mais uma vez, na perda de solo público e o avanço para além do perímetro da projeção, eliminando o solo natural, necessário para o plantio das árvores. Jardins de cunho doméstico são criados ao invés do "chão gramado" de Lucio Costa, favorecendo a privatização do espaço.

³ A NBR15220-3 estabelece o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, adotando uma carta bioclimática a partir da sugerida por Givoni em "Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines" (Energy and Building, 18 (1), 11-23, 1992).

As trincheiras, afloramentos taludes e paredões interrompem o percurso e a leitura do espaço, criam problemas de segurança que são resolvidos pela adoção de gradis para impedir acidentes com os moradores (ROMERO, 2007). Entretanto, essas medidas impedem também a passagem de “estranhos”, uma vez que se multiplicam sem necessidade no perímetro do térreo.

As superquadras de ocupação mais recente, quando comparadas com as mais antigas, não apresentam a mesma leitura espacial, uma vez que a proporção espacial entre vazios e cheios é menor e seu terreno perdeu continuidade e legibilidade. A análise do percurso considera como elemento fundamental da segurança urbana o tipo de relação gerada entre o construído e o espaço público, o que favorece as diferentes situações (controle visual, possíveis acessos, iluminação) que promovem maiores ou menores condições e percepções de segurança. As soluções rebuscadas utilizadas nos térreos são trasladadas para o espaço público, que fica balizado de pequenos artifícios que interrompem os passeios e dificultam a identidade com o espaço. Perde-se aos poucos o sentido do lugar - *genius loci*, criado no projeto original, que significava estabilidade e uma fonte de identidade que expressava as características do lugar.

Deturpação do Projeto original

As superquadras de Brasília já não lembram em quase nada o projeto do urbanista Lucio Costa, apresentando, ao longo dos anos, nítida deturpação de seu projeto. Buscamos verificar no Plano Piloto, a partir de pesquisa de campo realizada, se os elementos previstos por Lucio Costa foram mantidos (Fig. 3), considerando o estado dos caminhos e dos acessos, a fluidez dos percursos e o grau de acessibilidade que demonstram. Nossos estudos mostram que as superquadras mais preservadas são as 207, 105, 104, e 308 Sul e os projetos mais deturpados são as superquadras mais novas, 212 e 214 Norte (ROMERO, 2011).

As superquadras, especialmente as da Asa Norte, de construção recente, cercam os pilotis com uma série de elementos que dificultam, mascaram e impedem o acesso e a visão do espaço. O térreo é muito diferente: salões de festas, guaritas, casa de zeladores e bicicletários ocupam todo o espaço antes livre e desimpedido. Esses elementos evidenciam a privatização do espaço público, diminuindo a segurança dos prédios ao tirar a visibilidade e atrapalhando a passagem (Fig. 4 e 5).

4 Em pesquisa realizada em 2011 no âmbito da graduação e da pós-graduação da FAU UnB, sob nossa coordenação, foram analisadas trinta e quatro (34) superquadras, dezessete (17) na Asa Norte e dezessete (17) na Asa Sul, das 120 superquadras que compõem o Plano Piloto de Brasília.

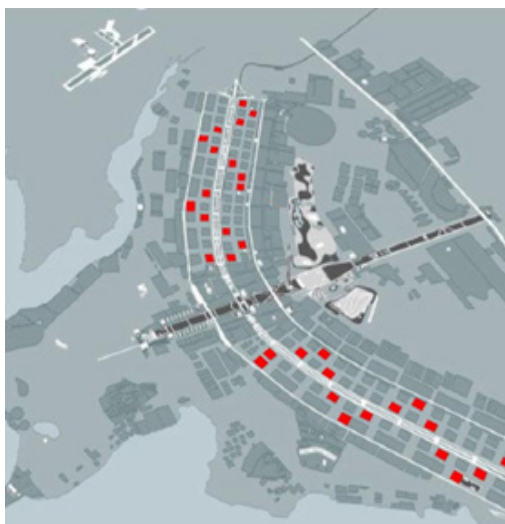


Figura 3. Planta da cidade com a localização (em vermelho) das superquadras analisadas. Fonte: Romero, 2011, p. 45



Figura 4. Pilotis ocupados e acessibilidade restrita na 202 e 402 Norte. Fonte: A autora



Figura 5. Térreo de blocos da superquadra 109 Norte. Fonte: A autora

Nas superquadras Norte, por exemplo, os “pilotis livres”, pensados por Lucio Costa, têm mais de 40% de suas áreas ocupadas. Faz-se necessário considerar que, além da ocupação dos pilotis, existem nas quadras diferentes parâmetros de disposição de edifícios que criam conformações urbanas com grande e média permeabilidade, podendo criar barreiras ao vento, e com baixa permeabilidade, levando a grande possibilidade de ocorrência de efeitos barreira e de canalização - fenômenos que podem ser incrementados pelos diversos obstáculos colocados no caminho dos ventos, (ROMERO, 2006; FARIA e ROMERO, 2021) , Fig. 6.

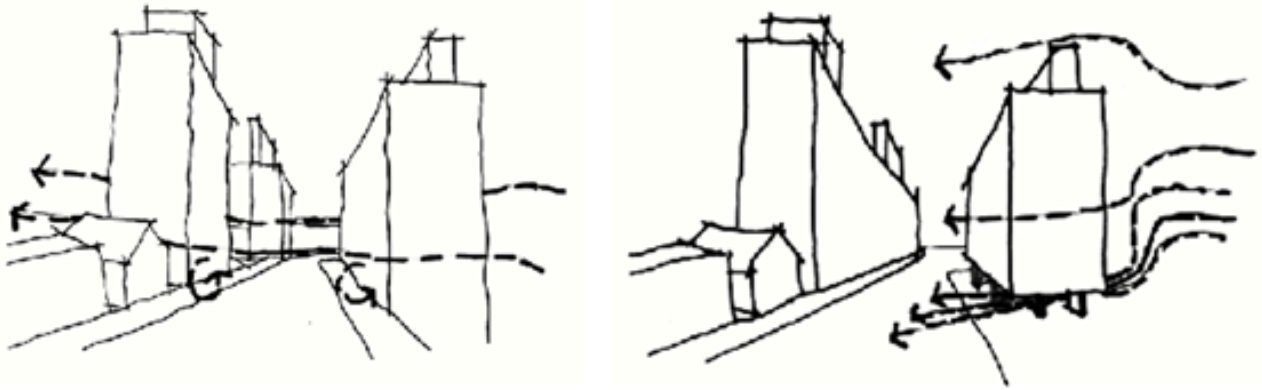


Figura 6. Efeitos do fluxo do vento. Fonte: Romero, 2011, p. 109

Na Asa Sul, o percentual de área dos pilotis ocupada sobe para 70% nas quadras 211, 213, 314, 315 e 412. 90% dos prédios possuem rampa, mas apenas 3,8 % desses têm rampa dos dois lados, dificultando o acesso às pessoas com deficiência.

Junta-se à situação descrita o fato de o calor perdido por ondas longas determinar o resfriamento das superfícies e do ar adjacente, e torna-se preocupante o fato de que apareçam mais compactas as áreas de edificações, pois nelas verificam-se alguns problemas, entre os quais destacamos: a redução da radiação solar direta por sombreamento, o aumento da radiação difusa devido a inter-reflexões entre edifícios e a retenção da radiação de onda longa no espaço urbano (“trapping”).

Quanto aos aspectos de fechamento ao redor dos edifícios, as intervenções também são constantes. Por exemplo, 45% dos blocos das superquadras 211, 213, 314, 315, e 412 Sul possuem gradil (grade baixa), algo que também não estava previsto no projeto de Lucio Costa. Na Asa Norte a quantidade é um pouco menor, 32% dos prédios das quadras 103, 105, 202, 304, 402, 406 Norte também possuem gradil (Fig. 7).



103 Norte



103 Norte



302 Norte



303 Norte

Figura 7. Intervenções de fechamento ao redor dos edifícios. Fonte: A autora

A visibilidade seria responsável pela sensação de segurança, assim a presença das grades de proteção é necessária, por exemplo, quando há um desnível da garagem ou do estacionamento do prédio. Nas superquadras 109, 111, 208, 310, e 407 Norte percebe-se uma obstrução em 47% dos prédios, pela construção de salões de festa ou pela vegetação densa, impedindo o controle social. Nas quadras 115, 212, 214, 216, 316 e 415 Norte a situação é ainda pior – uma média de 86% de visibilidade está impedida, influenciando também nas trocas térmicas.

Essa influência nos remete ao fato de que as edificações constituem obstáculos ao resfriamento urbano, uma vez que dificultam a perda de radiação de ondas longas para o espaço, sem esquecer que a perda de radiação de ondas longas é maior quanto maior for a área de céu visível, que propicia a troca de calor entre a superfície e o espaço. Sobre a influência das edificações nos microclimas urbanos destacamos os estudos realizados por Duarte & Serra (2001), em Cuiabá. Os autores apresentam o indicador que representa a proporção entre a densidade construída, representada pela taxa de ocupação multiplicada pelo coeficiente de aproveitamento do solo e os elementos naturais (água e vegetação arbórea), que tem como objetivo estabelecer a proporção desejada entre as variáveis em função do clima do lugar, buscando amenizar as condições climáticas das áreas urbanas.

Já ao redor dos edifícios, verificou-se a presença de cercas vivas ou sebes em 50% deles e de cercas comuns em 52% dos prédios das quadras 109, 111, 208, 310 e 407 Norte. Nessas superquadras, 45% dos passeios apresentam obstáculos e 37% de escadas nos acessos, 50% das construções no térreo obstaculizam a visão do lugar e o fluir dos ventos.

O paisagismo abandonou os elementos básicos de Lucio Costa ("árvores de grande porte") ao implantar uma vegetação pouco adequada ao lugar, já que não fornece sombra, nem frutos, nem o deleite visual, ao alinhar desajeitadamente uma série de palmeiras em uma composição estética duvidosa; porém, é a vegetação que, junto com muitos recursos de desenho urbano, influencia o clima em escala local, como a forma, estrutura e densidade urbana, permeabilidade da superfície distribuição de edifícios e árvores, orientação e metabolismo - uma vez que existe uma forte relação entre essas características e consumo de energia em edifícios e conforto térmico de espaços ao ar livre (AKBARI et al., 2016).

Lembrando que Lucio Costa criou para Brasília o conceito de cidade-parque, em que a cidade deveria ser coberta por um grande tapete verde, com muitas árvores proporcionando sombras e um cinturão verde em torno da quadra protegendo de ruídos e umidificando o ambiente. Exemplos claros da importância da porcentagem de copas de árvores ficam evidentes na diferença de temperatura que encontramos na SQS 203, que apresenta cerca de 1°C a menos que a SQS 108, nos períodos seco e chuvoso do ano, ambas típicas Superquadras da Asa Sul. O principal motivo identificado para essa diferença é a arborização, pois na SQS 108 a porcentagem dessa é de 33,73% e na SQS 203 de 38,61%, produzindo, portanto, uma sensível diferença no conforto térmico urbano.

A arborização se transforma em um recurso fundamental na construção de elementos que auxiliam o estresse térmico urbano, tais como os corredores verdes, por exemplo. A ventilação urbana depende de fluxos de vento em várias escalas e das características das cidades, tanto do ponto de vista do ambiente construído (porosidade, rugosidade), quanto do clima local (OKE, 2006). Elaborar corredores de vento pode contribuir para a qualidade do ar na dispersão de aerossóis e para o conforto térmico dos pedestres, especialmente em zonas de clima tropical úmido (REN et al., 2018). A ventilação natural, segundo Santamouris (2013), é o instrumento mais eficaz para melhorar a qualidade do ar em áreas urbanas.

No tecido urbano, observamos também a temperatura do ar e das superfícies dentro dos cânions urbanos, já que dependem do balanço da radiação solar. A maior parte da radiação solar atinge as coberturas e paredes e muito pouco o solo, onde é absorvida em função das características dos materiais e transformada em calor sensível. Nos cânions

urbanos boa parte da abóbada celeste que seria vista das superfícies é bloqueada por outros edifícios, e as perdas por radiação de ondas longas são reduzidas. Dessa forma, o balanço entre os ganhos e perdas de calor é positivo e a temperatura é maior que na zona rural.

O estudo das temperaturas do ar e das superfícies, e da circulação do ar dentro dos cânions urbanos, através da análise do balanço térmico, visa otimizar o consumo de energia das edificações, o conforto térmico dos pedestres e a dispersão dos poluentes. A distribuição da temperatura do ar dentro do cânion urbano não é homogênea: regiões com maior porosidade possuem melhor ventilação do que as pouco porosas; nas muito porosas há melhores trocas térmicas, renovação do ar e possibilidade de ventilação cruzada, o que é o ideal para regiões quentes.

No cânion urbano há uma estreita relação entre o padrão de temperatura das superfícies e a geometria das ruas, por exemplo:

- Próximo às fachadas, forma-se uma camada de ar cuja temperatura depende da temperatura da superfície da fachada e do transporte vertical do ar.

- No meio do cânion, no solo, a temperatura do ar é diferente daquela próxima às fachadas e depende também do transporte horizontal do ar. A temperatura no meio do cânion é menor que a temperatura correspondente da camada de ar próximo às fachadas, e em todos os casos a temperatura da camada de ar é maior que a do ar acima dos edifícios.

A circulação do ar dentro de cânions profundos não é devida somente ao fluxo de ar sobre o cânion, mas também é influenciada pela estratificação do ar dentro do cânion e pelo mecanismo de advecção nos cantos dos edifícios (Fig. 8 e 9).

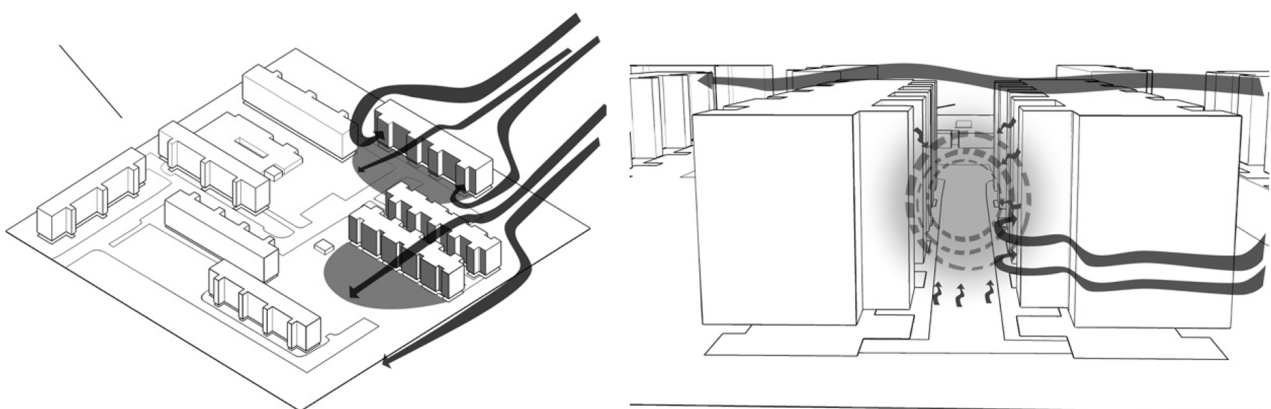


Figura 8. Encontrou-se, nas superquadras analisadas, Espaços de Recolhimento com proporções $W=H$, $W=2H$, $W=3H$. Superquadra 115 Norte. Fonte: Romero, 2011, p. 65

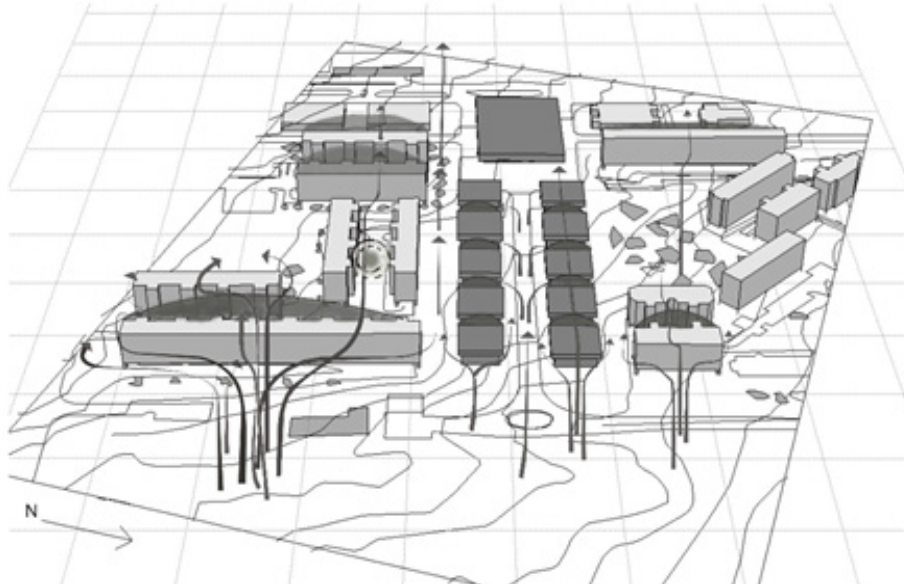


Figura 9. Segmento do comércio local da superquadra 308/309 Norte. Fonte: Romero, 2011, p. 65

Estratégias para a obtenção do conforto

A originalíssima concepção de Lucio Costa outorga ao espaço urbano significado com o princípio do solo público aberto, arborizado, gramado, permeável e desimpedido para o ir e vir. Ajudando, assim, o homem a morar e desenvolver sua relação com o ambiente - desaparece o parcelamento em lotes delimitados e contínuos, substituído pela acessibilidade indiscriminada ao interior do quarteirão. Visualizar o espaço torna o habitat seguro e amigável - o sentido de lugar se desenvolve e o enraizamento pode fornecer identidade. Um urbanismo assim pensado é sustentável porque projeta entornos indutores da comunidade, em que os espaços públicos atuam como catalisadores da comunidade. Experiências em diversas partes do mundo comprovam que quanto mais intensamente habitado é um espaço, mais pacífico tende a ser, porque haverá mais testemunhas que inibem crimes contra o patrimônio e ataques pessoais.

Os espaços urbanos que admiramos por sua beleza e harmonia estão em regiões que possuem grande adaptabilidade e visibilidade, fatores fundamentais da sustentabilidade. Assim verificamos nos tecidos antigos, facilmente reconhecidos a partir das praças e cidades, lugares, geralmente, com sentido estético e social, que além da dimensão artística possuem uma forma de circunscrever um espaço próprio à vida pública. A sustentabilidade e a acessibilidade não são questões exclusivamente ambientais, pois se relacionam com as questões de cidadania e igualdade, geralm e preferencialmente exercidas no espaço público. Daí a necessidade de espaços que possam oferecer as maiores alternativas eco-térmicas possíveis e que sejam adequadas a todas as necessidades (ROMERO, 2007).

Em definitivo, são necessários espaços capazes de conjugar interioridade e

exterioridade - somente uma política de tratamento paisagístico em sentido amplo e a retomada da arborização intensiva manterá a uniformidade do conjunto urbano, o que fornece sustentação e qualidade urbanística à superquadra.

Estratégias para a obtenção do conforto

O desenho da cidade e o conforto ambiental requerem a representação do meio ambiente urbano como um objeto único, cuja identidade resulta do conjunto de suas características, dentre elas o território, natural ou construído, exigindo o entendimento do meio físico e uma nova cultura ambiental. Essa nova forma de percepção do lugar demanda, portanto, uma escolha e uma tomada de consciência das qualidades que estão presentes num determinado lugar. A caracterização do lugar relaciona-se à vivência do homem, às suas interações com o outro, às transformações e adaptações das regras preestabelecidas pela própria natureza.

A cultura ambiental é uma síntese das condições do meio natural e da paisagem construída, dos conjuntos urbanos e espaços de uso público, das edificações, do mobiliário etc. Somente quando incorpora-se os elementos próprios do lugar, especialmente os ambientais, que são os que outorgam caráter e definem a cidade, é possível realizar um planejamento local específico, mais adequado à grande diversidade regional. A consideração destes elementos nos permite atender melhor às exigências de qualidade de vida dos cidadãos.

O conforto bioclimático de determinado ambiente externo ou interno envolve diversas variáveis que influenciam a sensação de conforto humano e a avaliação que o usuário faz do ambiente, em função da atividade que está realizando, da sua vestimenta e das variáveis climáticas do local. Projetar, então, pode ser entendido como a recuperação de práticas que levam em consideração as condições do ambiente, evitando a perda da evidência do entorno e colaborando para a percepção da cidade integrada nos processos naturais que sustentam a vida.

Na concepção dos edifícios, a adoção de certas estratégias pode influenciar significativamente seu desempenho térmico e, conseqüentemente, o conforto térmico de seus ocupantes. A busca pelo conforto térmico dos ambientes por meio da adequação do projeto conduz à lógica bioclimática, em que a adequada leitura das características climáticas de um lugar produz soluções projetuais confortáveis.

Recomendações e diretrizes de projeto, tanto para a implantação como para as características dos elementos de envoltória em geral, assim como para as aberturas e sombreamento, podem ser direcionadas para a maximização do conforto térmico⁵, permitindo propor uma combinação de várias estratégias. A

5 A Norma 15.220 estabelece recomendações e diretrizes para os climas brasileiros a partir de uma análise de Habitação de Interesse Social. Como não há Norma específica para a análise do desempenho térmico e do conforto ambiental de outros edifícios, se assumem as diretrizes da NBR 15.220.

adoção de soluções que conduzam à prevenção e atenuação de ganhos de calor e de estratégias que deem origem a processos de dissipação de calor traduzir-se-á, assim, numa redução das necessidades de resfriamento e na melhoria das condições de conforto térmico.

A atenuação dos ganhos de calor através da envoltória do edifício depende também da massa térmica do edifício, ou seja, da capacidade que um edifício tem de armazenar calor na sua estrutura, assim como da colocação de elementos de proteção solar (brises) e as placas perfuradas, paredes com menor absortância, vidros com menor fator solar, menor transmitância das paredes e ventilação mecânica da cobertura.

Nas regiões tropicais, como a que abriga Brasília, a ventilação natural é um processo pelo qual é possível resfriar os edifícios, tirando partido da diferença de temperaturas existente entre o interior e o exterior, em determinados períodos. O movimento de ar efetivo através dos edifícios, gerado por pressão de vento, depende de duas condições básicas: primeiro, deve existir uma zona de alta pressão e uma zona de baixa pressão em torno do edifício e, segundo, devem existir aberturas de entrada na zona de alta pressão e aberturas de saída na zona de baixa pressão. Para atender a esses requisitos, mostram-se fundamentais a forma do urbano e o desempenho da estrutura da cidade.

São necessárias diversas estratégias bioclimáticas quando se trata da criação de um habitat mais sustentável. Entre elas destacamos as *Estratégias de acondicionamento do lugar*, que envolvem ações como a minimização de cortes e aterros, a disposição das atividades segundo a orientação (zonas úmidas nas orientações de maior carga térmica), a captação e reuso das águas de chuva (armazenamento e filtro), a presença ativa da vegetação (para resfriamento e sombreamento), e de espécies vegetais apropriadas, o rego controlado, solo permeável e drenagem natural, por gravidade.

Em seguida, podemos destacar as *Estratégias Bioclimáticas* para promover a *ventilação natural*, tais como: a concepção alongada; as vedações opacas modulares, leves, permeáveis; a porosidade da massa construída; as vedações transparentes modulares com WWR⁶ calculado, protegidas da radiação; as aberturas que permitem ventilação cruzada; a camada de ar ventilada nas fachadas; o resfriamento noturno (vãos controláveis). Por outro lado, a fim de restringir ganhos solares, devem ser incorporados elementos de desenho como os dispositivos de proteção solar externos, as coberturas duplas, o colchão de ar, o forro ventilado, os passeios cobertos ou semicobertos, a pele dupla, as cores claras ou refletantes, e as coberturas vegetais.

Destacamos por fim as Estratégias de iluminação natural, que

6 WWR – Window Wall Ratio, percentual recomendado de área envidraçada e área opaca de fachada. Esse percentual considera a proporção ótima de vidros para garantir iluminação natural e minimizar ganhos e perdas solares, levando em consideração as dimensões do ambiente (largura, profundidade e pé direito).

compreendem os elementos de desenho como vedações transparentes modulares, com WWR calculado, protegidas da radiação, prateleiras de luz, forros claros e vidros seletivos, e as Estratégias de eficiência energética, tais como, equipamentos de baixo consumo elétrico e de água, controle individual dos equipamentos e sistemas de iluminação, incorporação da vegetação no isolamento do edifício, e partido arquitetônico alongado (pouco profundo).

Índices de Conforto para Espaços Abertos

A fisiologia humana a partir dos fatores básicos que afetam o conforto hidrotérmico, tais como o vestuário, a temperatura radiante do ar, a umidade, a velocidade do ar, a temperatura do ar e o calor metabólico, processa, involuntariamente, ajustes que influenciam no processo de aumentar ou diminuir as taxas de perda de calor ou de outras sensações, tais como a luminosidade ou a absorção de ruídos. Segundo Frota e Schiffer (2001), "o organismo experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade".

Os índices de conforto térmico procuram englobar, num único parâmetro, o efeito conjunto dessas variáveis. De acordo com Frota e Schiffer (2001), existem cerca de três dezenas de índices, os quais foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto (biofísicos, fisiológicos e subjetivos).

Monteiro e Alucci (2005_a, 2005_b) fazem uma revisão acerca de estudos e modelos na área de conforto e stress térmico em espaços externos. Entre os índices de sensação térmica (conforto), consideram dois numéricos: O Índice de Sensação Térmica (TS), desenvolvido por Givoni, e a Temperatura Neutra Exterior (T_{ne}), proposto por Aroztegui em 1995 (que relaciona variáveis de vento e radiação), e um analítico: o Modelo PET (Physiological Equivalent Temperature), que se baseia no balanço térmico do corpo humano.

Segundo a classificação dos modelos e índices aplicáveis a espaços abertos proposta por Monteiro e Alucci (2007), mostram-se adequados os modelos que apresentam a característica de englobar dados objetivos (microclimáticos) e dados subjetivos de sensação térmica.

De acordo com a Norma Internacional ISO 7730, quando os parâmetros físicos de um ambiente, temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar, bem como os parâmetros pessoais, como as atividades físicas desempenhadas e as vestimentas utilizadas pelas pessoas, são conhecidos ou medidos, a sensação térmica do corpo pode ser estimada

pelo cálculo do índice do voto médio estimado PMV (Predicted Mean Vote)⁷.

⁷ O PMV é um índice que prevê o valor médio de um grande grupo de pessoas, segundo uma escala de sensações de 7 pontos. A partir do valor do PMV, define-se o índice conhecido como Predicted Percentage of Dissatisfied – PPD, que estabelece a quantidade estimada de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente. O índice PPD pode variar de 5 a 100%. Segundo a norma ISO 7730, os ambientes ideais possuem valores de PMV entre -0,5 e +0,5, o que corresponde a até 10% de pessoas insatisfeitas. São toleráveis, porém, os ambientes com PMV entre -1 e +1 e 20% de pessoas insatisfeitas.

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.220: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

AKBARI, H.; CARTALIS, C.; KOLOKOTSA, D.; MUSCIO, D.; PISELLO, A. L.; ROSSI, F.; SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; WONG, N. H. e ZINZI, M. Local climate change and urban heat island mitigation techniques – the state of the art, *Journal of Civil Engineering and Management*, 22:1, 1-16, 2016.

DUARTE, D., SERRA, G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, São Pedro, SP, 2001. CD-Rom Anais.

FARIA, N. DE M.; ROMERO, M.B. Avaliação da ventilação urbana da superquadra 500 do Sudoeste -DF. XVI ENCAC, PALMAS, TO, 2021,

FERREIRA, L. S. Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2019.

FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R. Manual do Conforto Térmico, 5ª.ed. Stúdio Nobel, SP, 2001.

MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 1: verificação experimental de modelos preditivos. In: IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto - MG. Anais. Ouro Preto - MG: UFMG, 2007.

MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Índices de conforto térmico em espaços abertos, parte 1: estado da arte. In: VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió - AL. Anais. Maceió - AL: UFAL, 2005_a.

MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Índices de conforto térmico em espaços abertos, parte 2: estado da arte. In: VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente

Construído, 2005, Maceió - AL. Anais. Maceió - AL: UFAL, 2005_b.

OKE, T.R.; Mills, G.; Christen, A. e Voogt, J. Urban Climates. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

OKE, T.R. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observation At Urban Sites. World Meteorological Organization. Report n° 81, 2006. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9286

REN, C.; Yang, R.; Cheng, C.; Xing, P.; Fang, X.; Zhang, S.; Wang, H.; Shi, Y.; Zhang, X.; Kwok, Y. e Ng, E. Creating breathing cities by adopting urban ventilation assessment and wind corridor plan – The implementation in Chinese cities. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 182, p. 170-188, 2018.

ROMERO, M.A.B.; MACEDO, Gustavo de M. B.; AZEVEDO, Erondina de L.; WERNECK, Daniela R.; VIANNA, Elen O.; SALES, Gustavo de L. Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2019 – 1ª edição / Editora ETB

ROMERO, M. A. B. Arquitetura bioclimática do espaço público. 4ª reimpressão. Brasília: Editora UnB, 2015. 226p.

ROMERO, M. A. B. Arquitetura do Lugar. Uma visão bioclimática da Sustentabilidade em Brasília. Nova Técnica Editorial, São Paulo, 2011.

ROMERO, Marta A. B. Sustentabilidade e Acessibilidade no espaço residencial do Plano Piloto de Brasília - ANPUR 2007 Cadernos Enanpur v. 12 n. 1 (2007): Belém– Pará – 21 -25 Maio 2007. XII Encontro Nacional da ANPUR, 2007.

ROMERO, Marta. "O desafio da construção de cidades", Revista Arquitetura e Urbanismo - AU, Ano 21 No 142, Editora PINI, ISSN 0102-8979, pág. 55 – 58, São Paulo. 2006.

ROMERO, M.A.B. "As Características do Lugar e o Planejamento de Brasília" in revista Espaço e Geografia, Vol. 6 no 2, ISSN: 1516-9375, pág. 23 a 42, Brasília. 2004.

SANTAMOURIS, M. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island - A review of the actual developments. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26, pp. 224-240, 2013.

WERNECK, Daniela Rocha. Variabilidade da temperatura de Superfície diurna entre as Zonas Climáticas locais (LCZ). Um estudo para a área urbana do Distrito Federal. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Orientador: Marta Adriana Bustos Romero. 2022.

CAPÍTULO 5

O planejamento com a infraestrutura da paisagem cerratense: a contribuição da arborização



Rubens do Amaral

Arquiteto e Urbanista pela Universidade de Brasília (1996), especialista em Análise Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pelo Centro Universitário de Brasília (2012), Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável pela Universidade Federal de Minas Gerais (2014), Doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (2023). Professor no curso de Especialização em Arquitetura da Paisagem, na PUC Minas. Trabalha com planejamento urbano no Governo do Distrito Federal desde 1994, atuou em diversos projetos de parcelamento urbano, bem como em procedimentos para regularização de parcelamentos irregulares.



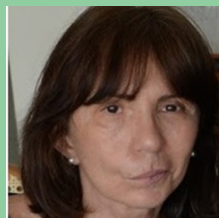
Camila Sant'anna Gomes

Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (2020). Doutorado sanduíche na University of Manchester, financiado pelo CNPq (2019). Mestrado em Théories et Démarches du Projet de Paysage pela École Nationale Supérieure d' Architecture de Versailles École Nationale Supérieure de Paysage Versailles, ENSPV, França (2009). Em Geografia Humana pela Université-Paris Diderot. Arquiteta e Urbanista pela Universidade de São Paulo (2007). Professora da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia.



Rômulo José da Costa Ribeiro

Geólogo (1999), Mestre e Doutor em Arquitetura e Urbanismo (2003 e 2008), pela Universidade de Brasília. É Professor Associado III - DE da Universidade de Brasília. Coordena o Núcleo Brasília do INCT do Observatório das Metrópoles/IPPUR/UFRJ, desde 2009. Coordena o Grupo de Pesquisa Núcleo Brasília, no qual são estudadas questões espaciais em apoio à compreensão e ao planejamento urbano e ambiental da Área Metropolitana de Brasília. Pesquisa principalmente nos temas: geoprocessamento, planejamento urbano, meio ambiente, mobilidade, planejamento espacial e sensoriamento remoto.



Maria do Carmo Lima Bezerra

Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal do Ceará (1980) com mestrado em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade de Brasília (1988) e doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas pela Universidade de São Paulo (1996). Estágio Pós doutoral no AAP, Cornell University, USA (2009-2010) e no DUyOT da Universidade Politécnica de Madri (2019-2020). É professora Titular da Universidade de Brasília atuando no Programa de Mestrado e Doutorado em Arquitetura e Urbanismo desde 1996. Possui Bolsa de Produtividade em Pesquisa- PQ/CNPQ (2023-2026) e lidera o Grupo de Pesquisa em Gestão Ambiental Urbana (UnB/CNPq).



Gustavo Macedo de Mello Baptista

Professor Associado III do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Possui graduação em Bacharelado em Geografia pela Universidade de Brasília (1994), graduação em Licenciatura em Estudos Sociais - Habilitação Geografia pela União Pioneira de Integração Social Faculdades Integradas (2009), especialização em Inteligência de Futuro: Prospectiva, Estratégia e Políticas Públicas pela Universidade de Brasília (2015), mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (1997) e doutorado em Geologia pela Universidade de Brasília (2001). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto e em Avaliação Ambiental e Urbana. Pesquisador do Núcleo Brasília do INTC Observatório das Metrópoles.

O planejamento com a infraestrutura da paisagem cerratense: a contribuição da arborização

Rubens do Amaral
Camila Sant'anna Gomes
Rômulo José da Costa Ribeiro
Maria do Carmo Lima Bezerra
Gustavo Macedo de Melo Baptista

A contribuição da infraestrutura da paisagem cerratense para o ordenamento integrado do território

A paisagem Cerratense é o produto das relações entre suas características geológicas – suporte – e os aspectos climáticos, biogeográficos – flora e fauna – e antrópicos – que caracterizam sua cobertura (DELPOUX, 1979). Dessa articulação surge um sistema biofísico relacionado às fitofisionomias do Bioma Cerrado, e aos respectivos benefícios socioculturais e ecológicos proporcionados às ocupações humanas. Nela, a rede hídrica, que atua como conectora natural, física e ecologicamente do território, promove o diálogo entre sistemas de várzeas e aquíferos (porosos e fissurados). O cerrado brasileiro, em função dessa articulação, é considerado a "caixa d'água do Brasil" ou o "berço das águas", abrangendo 8 bacias hidrográficas e 3 aquíferos (Guarani, Bambuí e Urucuia) (OLIVEIRA et al., 2016; ESTRABIS, et al., 2019). No contexto desse bioma, as paisagens arbóreas (treescapes) cerratenses envolvem tanto às formações florestais quanto às savânicas, nas quais a vegetação atua como esponja (ESTRABIS, et al., 2019), recarregando os aquíferos e os lençóis subterrâneos, configurando a rede hídrica (OLIVEIRA et al., 2016). As formações florestais, compostas por matas de galerias (não-inundável e inundável) e mata seca (verde, semidecídua e decídua), e as savânicas, pelo Cerrado, no sentido restrito, pelo Parque de Cerrado, pelo Palmeiral e a Vereda, juntamente com as áreas campestres, pelo Campo Sujo, pelo Campo Limpo e pelo Campo Rupestre, situam-se sobre aquíferos, contíguos ou não às ocupações humanas, como vemos na Figura 1.



Figura 1: Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Fonte: <https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado>

A arborização cerratense – “esponja” – tem um papel fundamental na configuração das infraestruturas da paisagem e no provimento de serviços ecossistêmicos. No contexto florestal, relaciona-se com as funcionalidades específicas dessa fitofisionomia, associadas a serviços ecossistêmicos diversos, desde conectividade física e ecológica, necessária para a proteção da biodiversidade, quanto à proteção de inundações propiciadas pela vegetação ripária, desde que, claro, conservada ou restaurada. Por sua vez, no contexto savânico, tais áreas, apesar de apresentarem menor intensidade arbórea, além de abrigarem ampla diversidade biológica, são essenciais para a recarga de aquíferos e para a disponibilização de água doce para os sistemas urbanos. A Figura 2 apresenta as faixas de recarga de aquífero no território do Distrito Federal, cuja camada de vegetação original – cerrado savânico –, incidente sobre solos com alta porosidade, configura um sistema biofísico essencial para os serviços ecossistêmicos vinculados à água, no Distrito Federal (DF).

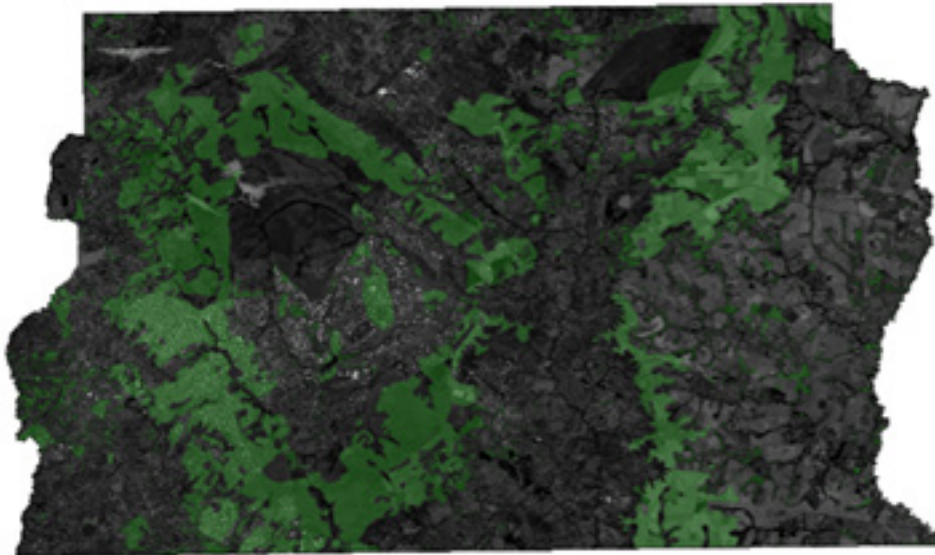


Figura 2: Faixas de recarga de aquífero no território do Distrito Federal.

Repensar o planejamento da paisagem cerratense passa pela compreensão da Paisagem como o elemento mediador entre a natureza e o ambiente construído, estruturando o desenvolvimento urbano em consonância com a valorização e a proteção do patrimônio ambiental urbano (MENEZES, 2006; CASTRIOTA, 2009), e o provimento de diversos serviços ecossistêmicos.

As estratégias multidisciplinares de planejamento e desenho ecológico-socioculturais da Paisagem proveem soluções híbridas (cinzas e verdes¹) para as ocupações humanas (WALDHEIM, 2016; BELANGER; 2017; SANT'ANNA, 2020). Essas soluções consideram a infraestrutura híbrida da paisagem² do território urbano-rural, composta por sistemas biofísicos (relevo, clima, vegetação, fauna

1 A infraestrutura verde contempla os chamados sistemas verde e azul, numa rede que promove os processos naturais, integrando-se às infraestruturas construídas do território (SANT'ANNA, 2020).

2 Essa abordagem se insere no contexto do desenvolvimento de novos enfoques sobre a paisagem, engajada na contribuição dos ecossistemas, expressa no arranjo disciplinar da Infraestrutura da Paisagem (Landscape Infrastructure).

e flora) e tecnológicos construídos (redes de infraestrutura urbana) (WALDHEIM, 2016; BÉLANGER, 2017; PELLEGRINO, 2017).

Cabe, às políticas de governança territorial³, um novo olhar transversal sobre os sistemas biofísicos e construídos na paisagem, que não só preserve e restaure os estratos remanescentes de Cerrado nativo, como também promova intervenções na paisagem, compostas por infraestruturas híbridas resilientes⁴. Nessas infraestruturas verdes a arborização é o elemento que articula as redes verdes e azuis, observando as especificidades dos ecossistemas do Centro-Oeste, como também comunica às populações os benefícios e o grau de dependência das ocupações humanas, na sua proteção e promoção. Sendo assim, esse novo olhar permite uma abordagem sistêmica das funções infraestruturais dos ecossistemas, cuja arborização é a protagonista no desenho de políticas de governança (e.g. planos de arborização, planos de mudanças climáticas, planos diretores locais).

A arborização se torna um elemento comum ao longo do território, que influencia as escalas de planejamento, promovendo a interface entre sistemas biofísicos e construídos, conforme vemos na Quadro 1, contribuindo para o desenvolvimento de soluções adaptadas multiescalares, baseadas em ecossistemas que promovem efetivamente a resiliência territorial.

ESCALA	INFRAESTRUTURAS HÍBRIDAS DA PAISAGEM		P L A N O S / INSTRUMENTOS	ENVOLVIMENTO DOS AGENTES
	SISTEMA BIOFÍSICO – VERDE	SISTEMA CONSTRUÍDO – CINZA		
REGIONAL	Áreas de conservação ou provedoras de serviços ecossistêmicos (hotspots) com funções infraestruturais decorrentes das especificidades do Bioma (florestas, pantanais, áreas de recarga de mananciais, rios, aquíferos, matas ciliares, matas ripárias)	Ocupações urbanas ou rurais, equipamentos de suporte às cidades, regiões ou nações (eg. Aeroportos, aterros sanitários, rodovias)	Plano de adaptação a mudanças climáticas; ZEE; planos de desenvolvimento agrícola, instrumentos de fomento; planos de manejo de bacias hidrográficas	Protagonismo das populações e de especialistas na elaboração das políticas regionais (participação em conselhos, workshops, conferências e audiências)
URBANA	Florestas urbanas, compreendendo toda a vegetação arbórea e a ela associada, existente em assentamentos urbanos ou a eles circundantes, ao longo do sistema de espaços livres (eg. Parques, arborização urbana, manchas florestais remanescentes, áreas de reflorestamento)	Padrão de parcelamento do solo (eg. Sistema viário, quarteirões, praças)	Plano Diretor; plano de arborização; plano setorial; ICMS Ecológico; IPTU Ecológico	Protagonismo das populações e de especialistas na elaboração das políticas e instrumentos na escala urbana (participação em conselhos, workshops, conferências e audiências), observadas as estratégias de planejamento regional

3 Entende-se por políticas de governança territorial, os planos e instrumentos propostos com o intuito de ordenar o desenvolvimento sustentável do território.

4 O entendimento de resiliência no contexto deste capítulo ultrapassa o entendimento que se limita ao favorecimento de um bom desempenho ecológico dessas infraestruturas quando sofrem impactos adversos (SANT'ANNA, 2020).

LOCAL	Arborização em bairros, associadas ou não a soluções baseadas na natureza (eg. em praças, ao longo de vias, bulevares, áreas abandonadas ou no interior dos lotes)	Redes de infraestrutura configuradas pelo desenho urbano (eg. Drenagem, abastecimento de água, esgoto e energia elétrica)	ICMS Ecológico; IPTU Ecológico; projetos de urbanização e de paisagismo; agricultura urbana	Protagonismo das populações e de especialistas no planejamento e realização de ações em apoio às ações (hortas comunitárias urbanas, jardins compartilhados, workshops locais), observadas as estratégias de planejamento na escala urbana.
--------------	--	---	---	---

Quadro 1: Planejamento da infraestrutura da paisagem cerratese.

Nessa dinâmica, as abordagens em escala regional se concentram na relação entre os Biomas, ou áreas de grande desempenho ecossistêmico (hotspots de multifuncionalidade), e as ocupações territoriais urbanas ou rurais, onde esses hotspots são áreas de referência, não só para o manejo da floresta urbana cerratese como um todo, e sua relação a com escala urbana, mas também para a adoção de soluções baseadas na natureza⁵ (NbS) para as infraestruturas urbanas da rede de espaços livres, a partir das especificidades da arborização do Bioma Cerrado, na escala local.

Dentro desse contexto, para o bom desempenho dos serviços ecossistêmicos em todas as escalas, os sistemas biofísicos de porte regional, principalmente das regiões de hotspots, devem ser conservados e manejados, de modo a identificar os núcleos provedores de serviços ecossistêmicos (hubs), que promovem maior conexão entre as espécies e o meio, potencializando sua relação com corredores (links) e áreas verdes mais isoladas (sites) (BENEDICT, 2006; BONZI, 2017; SANT'ANNA, 2020). Ressalta-se, também, a importância de uma reflexão a respeito desse desempenho ecológico em consonância com as infraestruturas construídas de uma região. Desse modo, configuram-se áreas de maior e menor acesso aos serviços ecossistêmicos no território, em diferentes combinações, que quando integrados, ainda que indiretamente, a sistemas construídos (BELANGER, 2017), possibilitem o acesso das populações aos benefícios ecológicos (ADANI e SPAGNOL, 2006; CONSTANZA, 2008).

Planejar as ocupações humanas a partir das dinâmicas e transformações ecossistêmicas na Paisagem se torna cada vez mais necessário, para uma estruturação de estratégias de ocupações humanas em harmonia com a capacidade de suporte do território (STEAD, 2013; PERRING e ELLIS, 2013; ZAID e PELLING, 2015). Para tanto, é fundamental a incorporação de adaptações baseadas em Ecossistemas (Ecosystem-based adaptation – EbA).

⁵ As soluções baseadas na natureza despontam como estratégia da agenda de pesquisa europeia, principalmente aquelas relacionadas ao programa Horizon 2020 e a política de inovação "Soluções Baseadas na Natureza e Renaturalização das cidades", desenvolvidas pela Comissão da União Europeia, com o intuito de promover soluções multiescalares construídas resilientes, baseadas nos processos naturais, a fim de contribuir para o desenho das infraestruturas híbridas da paisagem das cidades.

Adaptações baseadas em ecossistemas cerratenses

O planejamento da infraestrutura híbrida da paisagem cerratense precisa re-aver o modelo de promoção e proteção das áreas de grande desempenho ecossistêmico no território, que acaba por deixá-las em posição marginal frente às propostas de desenvolvimento urbano adaptadas ao cenário de eventos climáticos erráticos.

Uma das principais premissas que definem adaptações baseadas em ecossistemas (EbA) é o uso da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos necessários para a preservação do bem-estar humano, frente aos efeitos das mudanças climáticas (ECOFYS, 2017); configuram medidas que utilizam sistemas biofísicos – ecossistemas – naturais ou manejados, para o alcance de metas de adaptação, aplicadas ao longo do território, nas diferentes paisagens. Por se basear em processos ecológicos e serviços ecossistêmicos, essencialmente imbricados, as relações entre eles podem ser sinérgicas (um serviço potencializa outro) ou antagônicas (a presença de um serviço impacta ou anula outro).

Nessa diversidade de relações, o foco é a utilização da potência dos sistemas biofísicos no provimento de alternativas, flexíveis, sustentáveis, com boas relações de custo-benefício, atendendo a diversos propósitos. Nessas abordagens, o ecossistema é menos um elemento da paisagem a ser isolado e protegido e mais o protagonista em estratégias de adaptação, integradas às políticas de governança (ECOFYS, 2017; ECOFYS, 2016).

A partir da proteção e restauração das estruturas e processos ecossistêmicos pré-existentes, e do desenvolvimento de arranjos ecossistêmicos, podem surgir híbridos ou novos (HOBBS et al. 2011), estabelecendo diferentes configurações multiescalares biofísicas para arborização urbana, na escala do Bioma ao estrato arbóreo local.

Tal estratégia permite o arranjo entre diversas abordagens similares, como a infraestrutura verde e soluções baseadas na natureza (ECOFYS, 2017), consolidando o papel da arborização nas adaptações aos efeitos das mudanças climáticas. As EbA mais comuns ainda são as baseadas na conservação e restauração de áreas naturais, com aumento da biodiversidade. Contudo, é possível considerar intervenções mais intensivas na paisagem, como a agricultura sensível ao clima e florestamento, contribuindo para a redução do impacto das ocupações urbanas, influenciando adaptações ecossistêmicas relevantes. Entre esses manejos mais intensivos, figuram abordagens em infraestrutura verde e azul em assentamentos urbanos, como alternativas à infraestrutura cinza, em arranjos híbridos e complementares (ECOFYS, 2017; FEBA, 2017).

Apesar de muitas das práticas em Adaptações Baseadas em Ecossistemas estarem concentradas em experiências fora do contexto brasileiro (ECOFYS, 2017), e observamos aqui uma demanda por iniciativas relacionadas ao Bioma

Cerrado, são fontes importantes para balizar estratégias cerratenses, muitas das quais estão sintetizadas no portal climate change technology centre & network . Com base na sistematização desenvolvida pela ECOFYS (2017), os desempenhos ecossistêmicos integrados em todas as escalas para o Centro-Oeste poderiam ser organizados conforme as seguintes estratégias de leitura da paisagem (McHARG, 1969): hidrografia (medidas de adaptação para o gerenciamento da água); vegetação (medidas de adaptação do cerrado – considerando todas as fitofisionomias); e uso do solo (medidas de adaptação agrícolas e urbanas), como apresentado no Quadro 2.

CAMADA	OBJETIVO	ELEMENTOS PROPOSTOS
<p>Hidrografia: medidas de adaptação para o gerenciamento da água.</p>	<p>Conceber adaptações baseadas em ecossistemas relacionadas ao manejo da água, configurando um amplo espectro de ações; podem ser categorizadas como medidas de infraestrutura azul (blue infrastructure).</p>	<p>Bacias e lagoas, canais, bacias de detenção, bacias de infiltração, superfícies permeáveis, lagoas de retenção, lagoas de captura de sedimentos e armazenamento temporário de água de enchentes; recuperação de rios (eliminação de diques, estabilização de bancos naturais, reconexão de rios e lagos, restauração, reabilitação ou renaturalização de corpos d'água); restauração e manejo de várzeas; restauração de pântanos e manejo de águas subterrâneas (medidas para recarga natural de aquíferos e para recarga artificial de aquíferos) (ECOFYS, 2017).</p>
<p>Vegetação: medidas de manejo do cerrado. Uma das camadas da paisagem mais imbricadas com a camada hidrografia é a camada vegetação, observada sua atuação no manejo do acesso à água, além de interfaces significativas para estabilização e fertilidade dos solos, também com reflexos naquela camada (ECOFYS, 2017).</p>	<p>Promover adaptações de manejo do cerrado baseadas em ecossistemas, agrupadas principalmente em duas categorias: uma relacionada à restauração ecológica de estratos do cerrado, outra ao manejo da vegetação (ECOFYS, 2017). No contexto cerratense, fitofisionomias savânicas e campestres são importantes para a garantia da recarga de aquíferos (OLIVEIRA et al., 2016; ESTRABIS, et al., 2019). Coberturas florestais conservam umidade nos solos e facilitam a infiltração de água, contribuindo para a redução de riscos de inundação, bem como aumentam a resiliência durante períodos de secas (KIMURA et al., 2017). Na camada vegetação, concentram-se todos os indivíduos arbóreos no território, permitindo a compreensão sistêmica de sua atuação no provimento de serviços ecossistêmicos e no papel da arborização nesse contexto. Configuram, por meio das fitofisionomias características, modelos de manejo a serem considerados na configuração de florestas urbanas, considerando a relação funcional dos arranjos paisagísticos na adaptação baseada em ecossistemas cerratenses. Possibilitam, assim, a relação entre as infraestruturas da paisagem, por meio da interface proporcionada pelos estratos arbóreos.</p>	<p>Na categoria da restauração ecológica, figuram planos, projetos e ações relacionados a reflorestamento, manejo florestal sensível à água, faixas de vegetação e de florestas ripárias (matas ciliares e de galeria), conversão de usos do solo para floresta, manutenção de vegetação nativa em áreas de nascentes, plantio de vegetação para infiltração da precipitação. Como manejos da vegetação, ressaltam os realizados para conexão e continuidade de coberturas nativas e soluções em bioengenharia, articulando vegetação e os cursos de água, e descontaminação de áreas por meio de biorremediação (ECOFYS, 2017; KIMURA et al., 2017).</p>
<p>Uso do solo: compreende as modificações antrópicas na paisagem, aqui consideradas entre os usos urbanos e rurais, com medidas de adaptação agrícola e urbana.</p>	<p>Ressalta-se que, em um contexto de cada vez menor distinção entre usos rurais e urbanos e de avanço das fronteiras agrícolas por vezes até o limite das áreas urbanas, repensar esse gradiente (BELANGER, 2017) no contexto da arborização pode trazer soluções importantes para a promoção do bem-estar humano (MEA, 2005).</p>	

	Medidas de adaptação agrícola: demandam um novo olhar sobre os serviços ecossistêmicos de provisão em áreas rurais, provendo respostas para a redução de riscos de inundação e do impacto das secas.	Agrupar medidas que não apenas fomentam a segurança alimentar, como também ressaltam as interligações entre ecossistemas rurais e urbanos, a serem consideradas no manejo da arborização.	Podem ser agrupadas principalmente em duas categorias: habitats agrícolas e manejo agrícola. Este, relacionado a rotação de culturas, agricultura com baixo preparo do solo ou de plantio direto e redução da densidade pecuária. Aquele, práticas como agroflorestais, diversificação do cultivo, aumento da retenção de água nas plantações, terraceamento, cercas vivas, faixas de vegetação natural nos limites entre as áreas agrícolas e cursos d'água, vias e rodovias e cidades (ECOFYS, 2017).
	Medidas de adaptação urbana: remetem a práticas nas diversas escalas da forma urbana – lote, tecido urbano e plano urbano – relacionadas à melhoria da resiliência urbana e ao acesso das populações a serviços ecossistêmicos	Configurar medidas nas quais a vegetação e, sobretudo, a arborização urbana, podem configurar ecossistemas protagonistas na melhoria do bem-estar humano nas cidades.	Abarcam planos, programas, projetos e ações em uma gama de possibilidades e arranjos envolvendo práticas como jardins de chuva, telhados verdes, jardins filtrantes, biovaletas, bacias de retenção, bacias de infiltração, áreas verdes urbanas, agricultura urbana, parques florestais urbanos, corredores verdes urbanos e florestas urbanas (ECOFYS, 2017).

Quadro 2: Estratégias de leitura da paisagem baseadas em ABE.

Essas leituras devem ser capazes de responder aos desafios urbano-rurais contemporâneos que se apresentam perante o planejamento territorial. Dentre tais demandas, ressaltamos a identificação de áreas contaminadas, preservação e proposição de grandes áreas de biodiversidade, o planejamento e projeto de possíveis regiões de desenvolvimento urbano sustentável futuro, assim como soluções para os aumentos no nível da água do mar e o acesso a áreas de água potável (STEINER, F. et al, 2019). Respostas para esses problemas, espelhadas em estratégias de governança territorial multiescalares que contemplem a integração entre as agendas ambientais e urbanas, podem agregar outras perspectivas para o planejamento do território.

No contexto do cerrado, seriam possíveis soluções assertivas perante tais problemas, a partir do direcionamento de soluções baseadas nos ecossistemas (EbA), que, agregadas ao planejamento da paisagem por camadas, incorporariam soluções integradas de arborização, concebidas a partir do contexto regional da infraestrutura da paisagem. Contudo, a busca por tais soluções demanda estudos e aprofundamentos sobre o protagonismo das fitofisionomias do cerrado no acesso a serviços ecossistêmicos, ainda longe de serem incorporados no planejamento e projeto territorial. Oliveira et. al., 2016, ressalta que, sem o planejamento do uso e das coberturas vegetais nas áreas de cerrado (incluindo as medidas de adaptação agrícola), podemos chegar a uma crise hídrica sem precedentes. A depleção de estratos de vegetação nativa, sobretudo as savânicas e campestres, impactam severamente a recarga e a profundidade dos aquíferos. A garantia da qualidade e disponibilidade de água potável para as futuras gerações demanda que políticas de governança territorial ocorram em um vigoroso processo integrado de

planejamento, implantação e monitoramento (OLIVEIRA et al., 2016).

Por outro lado, tal planejamento exige a compreensão dos processos ecológicos do cerrado, sua estrutura biofísica e biodiversidade, na sustentação dos serviços ecossistêmicos, envolvendo três condicionantes essenciais para o envolvimento da sociedade nessa perspectiva de planejamento. Primeiro, a harmonia das ações humanas com os processos ecológicos afetos ao Cerrado; segundo, a compreensão dessas ações sobre a materialidade desses processos ao longo do tempo (vegetação, corpos d'água, características do solo, fauna e flora); e, por fim, o significado e percepção, de uso estético, cultural e patrimonial, a partir dessa compreensão. Tais elementos são essenciais para que a sociedade protagonize soluções de arborização cerratenses, com a percepção e valorização dos serviços ecossistêmicos e do bem-estar humano, providos por tal paisagem, protegida ou manejada.

A partir dessas considerações, este estudo se debruça sobre a seleção de áreas para medidas de adaptação no contexto urbano, valendo-se do sensoria-mento remoto para identificar áreas cujos fluxos de carbono e de água ofertam indícios de que seriam as mais propícias para tais intervenções.

Metodologia

A avaliação da integridade da vegetação em relação aos processos ecológicos de suporte foi realizada no Distrito Federal-DF, uma unidade federativa do Brasil, que abriga sua capital, Brasília, na região Centro-Oeste, totalizando uma área de 5.779.997 km² (IBGE, 2019). Com pouco mais de 50 anos de ocupação, essa área do Planalto Central coberta por um tipo de savana denominado cerrado já possui sua Matriz Ecológica⁶ estudada pelo Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal (ZEE-DF), Lei nº 6.269/2019, em que as áreas de riscos ecológicos decorrente de usos urbanos e agrícolas se encontram definidas como um dos mais graves riscos para áreas de recarga de aquíferos, principalmente por Brasília ser uma região que possui uma situação de estresse hídrico (DISTRITO FEDERAL, 2019). Essas considerações indicam a urgência da análise e proteção dos processos ecológicos, responsáveis pela manutenção da biodiversidade do bioma cerrado.

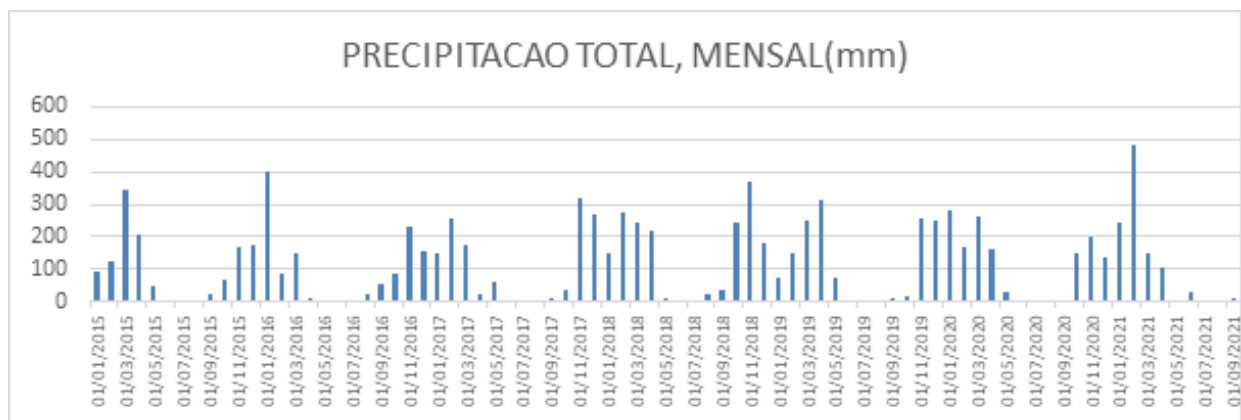
Como método de leitura da paisagem do Distrito Federal, utilizou-se o índice multiespectral CO₂flux, vinculado à eficácia fotossintética da vegetação e ao fluxo de carbono, e o Topographic Wetness Index - TWI, relacionado à influência da topografia nos processos hidrológicos. A integração do CO₂flux, bem como do TWI, vem sendo utilizada em diferentes estudos empíricos que visam a conservação, planejamento e projeto da paisagem, com vistas a integridade ecológica no Distrito Federal. Assim, configuram-se índices previamente validados em diversos contextos de paisagem (RAHMAN et al., 2001; XU et al, 2008; ZHU et.

⁶ Análise do uso e cobertura do solo, componente do Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal, elaborada a partir do conceito de riscos ecológicos e capacidade de suporte ambiental (DISTRITO FEDERAL, 2017).

al, 2014; SILVA e BAPTISTA, 2015; SANTOS, 2017; RADULA et al, 2018; LI et al., 2020; CORREIA FILHO et al., 2021; KOPECKY et al., 2021) como forma de aferição de importantes características da paisagem, a serem identificadas para implantação do verde urbano e reconfiguração da floresta urbana cerratense: eficácia fotossintética da vegetação, fluxo de carbono, capacidade de produção de biomassa (BONAM, 2008; CONSTANZA, 2017; BAPTISTA et al., 2019), umidade, fertilidade, presença de matéria orgânica, textura e espessura do solos (XU et al, 2008; MINGZHU et al., 2016; RADULA et al, 2018).

Identificação de sumidouros de carbono no Distrito Federal

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizadas Imagens do Satélite Landsat 8, sensor OLI, referente aos períodos de seca, observadas as cartas pluviométricas para o Distrito Federal, buscando não só a menor ocorrência de nuvens, como também avaliar o desempenho da vegetação nos períodos de maior stress hídrico. Foram avaliadas cenas entre os períodos de 2015 e 2021, com preferência para aquelas dos meses de junho, por apresentarem menor índice de chuvas, de acordo com o Gráfico 1.



Quadro 2: Estratégias de leitura da paisagem baseadas em ABE.

A cena selecionada para estudo foi a cena do satélite Landsat 8, de 16 de julho de 2020, considerando, como critérios de seleção, a ausência de chuvas, o menor percentual de cobertura de nuvens e a contemporaneidade. Na Figura 3, apresenta-se a localização da cena, a qual contém o limite do Distrito Federal, em que foram investigadas as dinâmicas relacionadas à presença e absorção de CO₂ pela paisagem.

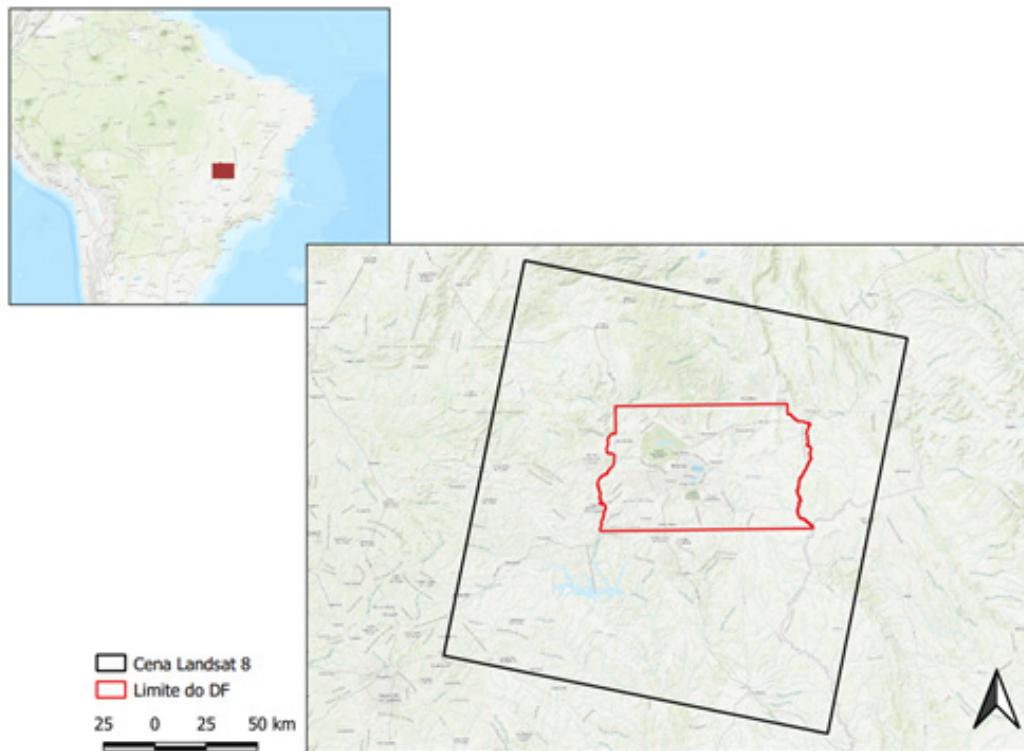


Figura 3: Localização da Cena Landsat 8, com a indicação do limite do Distrito Federal (área de estudo).

A área do Distrito Federal intercepta 7.167.615 pixels⁷ (com resolução espacial de 30 m) da cena Landsat 8, cobrindo uma área de 571.675, 68 ha. A cena abrange três Macrozonas do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT,2009: Proteção Integral, Urbana, Rural. No caso da Zona de Proteção Integral, envolve as três principais Unidades de Conservação do DF, que também se constituem nos núcleos da Reserva da Biosfera do Cerrado – RBC⁸: Parque Nacional de Brasília (PARNA Brasília), com cerca de 42,4 mil ha; a Área de Preservação Ambiental (APA) Gama/Cabeça de Veado, com aproximadamente 25 mil há; e a Estação Ecológica de Águas Emendadas, com cerca de 10 mil há (DISTRITO FEDERAL, 2009; 2019). As RBC contemplam estratégias regionais e internacionais para a preservação do Bioma Cerrado⁹ e no estudo aqui procedido, devido a sua integridade ecológica, foram escolhidas como áreas de referência, para balizar a análise de potenciais sumidouros de carbono.

Assim, a cena estudada, o Distrito Federal como um todo, abrange diversas formas de uso e ocupação do solo, para as quais espera-se identificar e associar diferentes padrões de sequestro de CO₂, o que dará insumos mensuráveis para

7 No sensoriamento remoto multiespectral, para cada pixel, existe um espectro medido de energia eletromagnética que atinge o sensor. Como cada pixel possui um valor de reflectância ou brilho para cada uma das 9 bandas espectrais (sensor OLI, Landsat 8), é possível obter um espectro contínuo, que pode ser usado para derivar uma infinidade de informações sobre o território, com base na assinatura espectral dos alvos e nas relações entre matéria e energia (Baptista, 2004; 2019).

8 As Reservas da Biosfera integram o Programa “O Homem e a Biosfera” da UNESCO, direcionado à conservação da diversidade biológica e cultural do Planeta (MAB,2020).

9 Segundo maior bioma do Brasil, é composto pelas formações campestres (predomínio de espécies herbáceas, algumas arbustivas, sem ocorrência de árvores), savânicas (arbustos e árvores sem dossel contínuo espalhados sobre gramíneas) e florestais, com predomínio de espécies arbóreas e formação de dossel contínuo. Configura um biossistema subcontinental, com expressões na América Central, África e Austrália (Sano et al., 2007)

intervenções de proteção ambiental em seus diferentes níveis.

A Figura 4 apresenta a área do estudo em relação ao macrozonamento distrital, à poligonal das áreas de proteção integral supracitadas e à Faixa Tampão da Reserva da Biosfera do Cerrado.

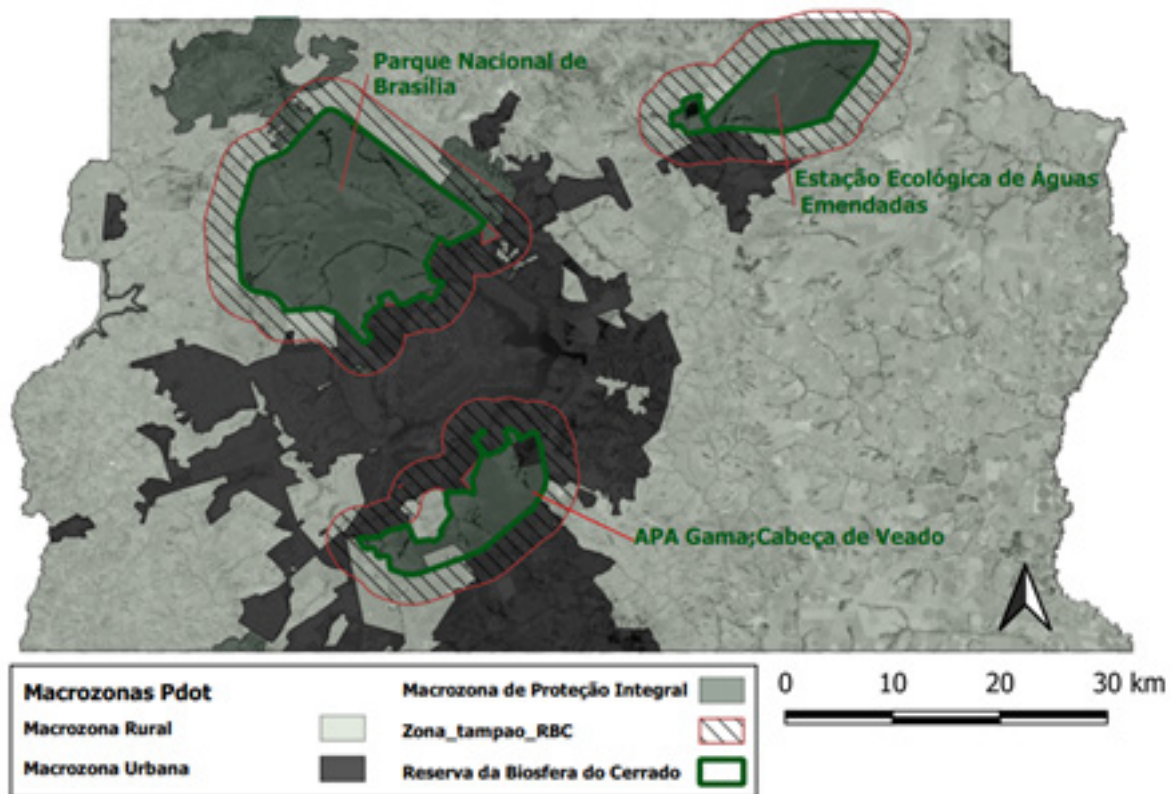


Figura 4: Área de estudo em relação ao Macrozonamento Distrital e à Reserva da Biosfera do Cerrado.

Determinando o CO₂flux com índices espectrais

Para estudar o sequestro de carbono pela vegetação ao longo da área de estudo, utilizou-se o índice CO₂flux. Para sua determinação, foi necessária a integração do NDVI (Índice de Vegetação de Diferenças Normalizadas) e o PRI (Índice de Reflexão Fotoquímica), reescalado para valores positivos. Enquanto o NDVI expressa a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação, o PRI expressa a eficiência desse processo de absorção pela planta (RAHMAN et al., 2001). Ambos são sensíveis às variações de biomassa, clorofila, água na folha e umidade no solo, de forma que, conjugados, podem expressar cerca de 96% do processo fotossintético e suas variações (MINGZHU et al., 2016; MENESES et al., 2019).

O NDVI usa as bandas vermelha e infravermelha no processo de diferença com soma normalizada, que visa a exibir uma relação percentual entre uma

10 De acordo com Hobbs (2007), áreas de referência são aquelas que apresentam desempenho ambiental apto para medição do sucesso de ações de recuperação ecológica. Podem, assim, espelhar o funcionamento de um ecossistema antes de ser modificado ou degradado, visando a instalação de seus processos essenciais, balizando o grau de comprometimento de serviços ecossistêmicos em áreas analisadas, bem como o traçado de metas objetivas de recuperação ecológica.

banda e outra. Essa operação aritmética permite uma distinção clara das áreas de vegetação devido à taxa de absorção na faixa do vermelho e ao pico de refletividade na faixa do infravermelho próximo. O índice NDVI (Equação 1) consiste na diferença de refletância entre a absorção do vermelho (660 nm) e o aumento do albedo que ocorre nos espectros da vegetação após o início do infravermelho (800 nm), em que R é o valor da refletância em cada comprimento de onda, ajustado para dados Hyperion (RAHMAN et al., 2001; SILVA e BAPTISTA, 2015)

$$NDVI = \frac{R_{800} - R_{660}}{R_{800} + R_{660}} \quad (1)$$

O Índice de Reflexão Fotoquímica – PRI (Equação 3) é uma razão da diferença entre a feição de absorção azul (531 nm) e o pico de refletância do verde (570 nm), e pode ser correlacionado com a eficiência da luz na fotossíntese (GAMON et al., 1997).

$$PRI = \frac{R_{531} - R_{570}}{R_{531} + R_{570}} \quad (2)$$

No entanto, o PRI exige que seus valores sejam reescalados, evitando dados negativos, sendo denominado sPRI (Equação 4). O reescalamento para valores positivos é necessário para normalizar os dados “verdes” da vegetação. O sPRI foi obtido por meio do PRI, adicionando uma unidade e dividindo o resultado por duas.

$$sPRI = \frac{(PRI + 1)}{2} \quad (3)$$

Por fim, o índice CO2flux foi determinado pela multiplicação dos planos de informação NDVI e sPRI (Equação 5) usando o software SNAP, versão 8.0.0, e seu módulo Band Math.

$$CO2flux = NDVI \times sPRI \quad (4)$$

É importante ressaltar que o CO2flux foi previamente validado por torres micrometeorológicas do projeto LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia), nos contextos de floresta primária, floresta secundária, pastagem e cerrado de transição (SILVA e BAPTISTA, 2015), assim como no contexto de caatinga, no semiárido pernambucano (SANTOS, 2017).

Determinando o Topographic Wetness Index

A modelagem do Topographic Wetness Index (TWI) foi realizada a partir do modelo de elevação digital do Distrito Federal. Esse índice permite quantificar a

tendência de distribuição de água e umidade do solo conforme a influência da topografia. O TWI (Equação 5) consiste no logaritmo natural da razão entre a , equivalente à área de captação da bacia hidrográfica à montante, calculada, conforme a direção de drenagem nos pixels da cena, usando (neste estudo) um algoritmo de direção de fluxo múltiplo; e β , correspondente às declividades encontradas na área de estudo (RADULA et al, 2018), conforme segue:

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan \beta} \quad (5)$$

Ambos os índices são representados ao longo do estudo juntamente com o Modelo Digital de Elevação do Distrito Federal, visando à observação das variações a serem encontradas conforme as especificidades do relevo do território.

Resultados

A aplicação do índice espectral CO2flux permitiu levantar as variações de intensidade fotossintética da vegetação na paisagem e, conseqüentemente, dos fluxos de carbono a eles afetos. Nesse processo, foram encontradas cinco classes de paisagem, que expressaram desde as maiores concentrações de vegetação arbórea (formações florestais e savânicas) até áreas com concentrações insipientes ou com ausência de vegetação. Os valores de CO2flux variaram entre -0,35 e 0,61, com média e mediana próximos (0,18 e 0,19) e desvio padrão de 0,09.

A partir da índices encontrados, adotou-se para feito de representação da realidade do Distrito Federal as seguintes classes de paisagem, conforme a presença, ausência e concentração de vegetação: (i) Ausência de fluxo de carbono; (ii) Muito baixo fluxo de carbono; (iii) Baixo fluxo de carbono; (iv) Médio fluxo de carbono; (v) Alto fluxo de carbono, descritos na Tabela 1 abaixo.

CLASSE DE PAISAGEM	CO2FLUX	ÁREA (HÁ)	%	CARACTERIZAÇÃO
Ausência de fluxo de carbono	-0,2206	54.823	9,58	Áreas urbanizadas ou com solo exposto, sem vegetação, ou com concentrações de vegetação imperceptíveis para o sensor.
Muito baixo fluxo de carbono	0,1374	129.560	22,66	Áreas urbanizadas ou com solo exposto e esparsas ocorrências de vegetação herbácea.
Baixo fluxo de carbono	0,1885	126.801	22,18	Áreas urbanizadas e/ou com predomínio de vegetação herbácea.
Médio fluxo de carbono	0,2395	130.023	22,74	Áreas com predomínio de vegetação arbustiva e presença de vegetação arbórea.
Alto fluxo de carbono	0,4507	130.467	22,82	Áreas com predomínio de vegetação arbórea.

Tabela 1: Classes de paisagem conforme as intensidades de CO2flux e ocorrência no Distrito Federal.

De acordo com a tabela acima, entre as classes de paisagem adotadas, as áreas com ausência de fluxo de carbono apresentaram a menor ocupação territorial

(9,58%), ao passo que as demais se distribuíram de forma equitativa, com valores em torno de 22 e 23%. Contudo, se considerarmos a ocorrência significativa de vegetação arbórea, associada à integridade dos Processos ecológicos de Suporte, as áreas de médio e alto fluxo de carbono representaram 45,56% do território, ao passo que as áreas com baixo a ausente fluxo de carbono ainda constituíram expressiva maioria. A Figura 5 apresenta a aplicação do CO2flux no território do Distrito Federal, com as variações médias de fluxo de carbono estratificadas conforme as classes acima definidas.

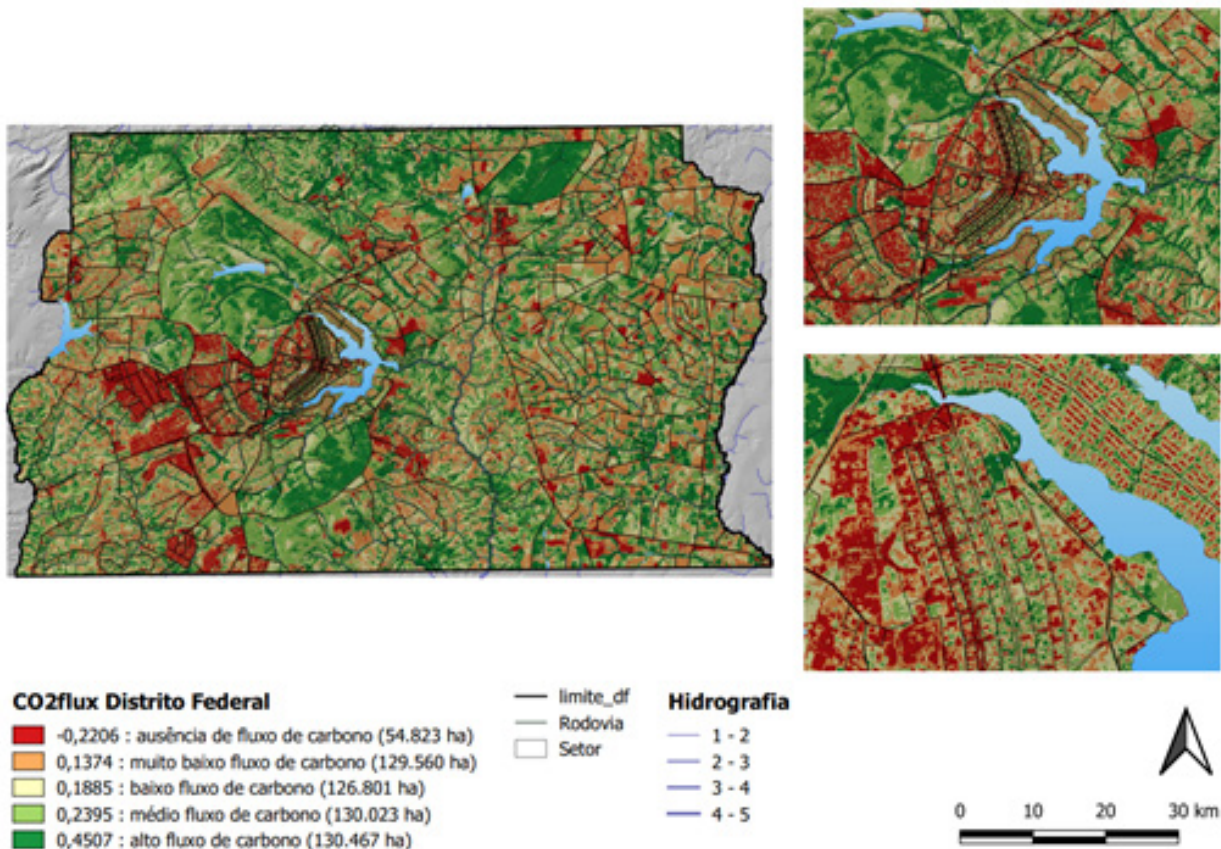


Figura 5: Aplicação do CO2flux, com a média das variações de fluxo de carbono, estratificado conforme as classes de paisagem definidas no estudo.

Em sequência, aplicou-se, sobre a cena de estudo, o Topographic Wetness Index – TWI, visando às possibilidades de recuperação ecológica associadas aos processos hidrológicos evidenciados por esse índice. Foi possível identificar desde áreas topograficamente mais secas a áreas topograficamente úmidas e muito úmidas, cuja variação pode ser observada na Figura 6.

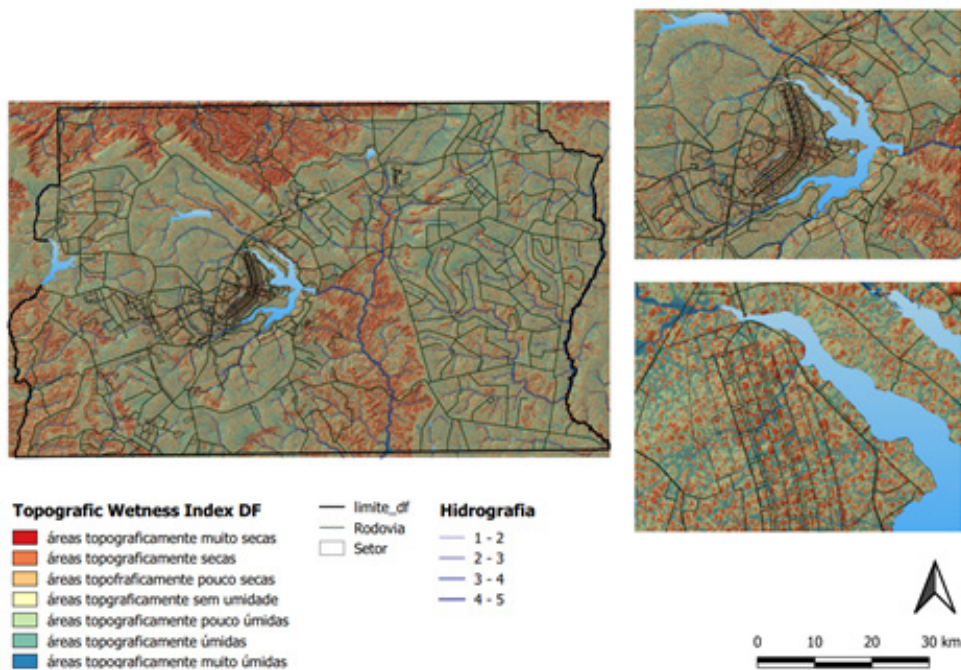


Figura 6: Aplicação do TWI, estratificado desde áreas topograficamente muito secas a áreas topograficamente muito úmidas.

Considerando que as áreas topograficamente úmidas e muito úmidas são essenciais para a integridade dos processos ecológicos de suporte, devido à influência do stress hídrico sobre os índices de CO₂flux, buscou-se extraí-las do índice supracitado, conforme ilustrado na figura 5.

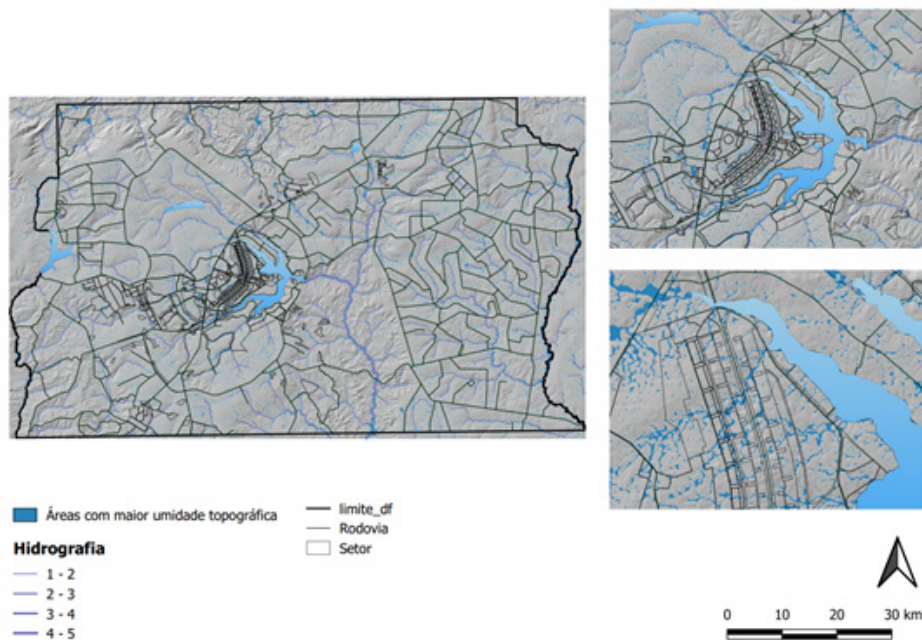


Figura 7: Áreas com TWI alto e muito alto.

Contudo, uma vez identificadas as áreas mais propícias para intervenções em arborização urbana, cabe aprofundar sobre o seu devido manejo, para que a vegetação a ser implantada, expandida ou aperfeiçoada à luz dos fluxos biológicos de carbono e de água, possa prover os serviços ecossistêmicos exigidos para o

meio urbano. Para tanto, levantou-se manejos para adaptação de áreas urbanas a partir das condições necessárias para a instalação desses fluxos, criticando práticas consolidadas no modelo tradicional de constituição de praças ajardinadas no Brasil.

A floresta urbana cerratense: demandas por adaptações nas escalas urbanas

Praças ajardinadas e o microclima urbano

Apesar do paisagismo brasileiro, insuflado pelos princípios do pensamento moderno, no início da Era Vargas, ter começado a se desprender da influência dos modelos europeus em busca de uma expressão solidificada em raízes brasileiras (MACIEL, 1998; SEGAWA, 2010; SÁ CARNEIRO, 2010), uma parte significativa dos sistemas de espaços livres urbanos ainda se configuraram em torno do modelo de praças ajardinadas (MACIEL, 1998; ROBBA; MACEDO, 2002; SEGAWA, 2010), muitas vezes em concepções paisagísticas de cunho especialmente estético, nas quais a vegetação não somente figura como pano de fundo para os elementos da forma urbana¹¹ (HOPKINS, 2013; PEREIRA COSTA e NETTO, 2015), como também está longe de contribuir como marco de uma identidade cerratense na escala urbana. Nessa abordagem, com raízes no urbanismo progressista (CHOAY, 1965; SANT'ANNA, 2020), a natureza perde potência em relação aos serviços ecossistêmicos prestados, sem funções ecológicas intencionais.

A observância dos processos ecológicos relacionados aos ciclos de carbono e paralelo de nutrientes é essencial para que a arborização urbana se torne ferramenta de resiliência das cidades e de regulação do meio ambiente urbano (BONAM, 2008; MEA, 2005), inclusive nos aspectos microclimáticos (ZÜRCHER e ANDREUCCI, 2017; AMARAL et al., 2017). Contudo, a prática, amplamente difundida, de implantação da arborização em trechos gramados, conjugados com atividades de rastelo, não apenas impede a formação de camada de serrapilheira abaixo das árvores, como dificulta, ou até mesmo inibe, a prestação de serviços ambientais decorrentes da instalação desses ciclos.

Essas características não apenas impossibilitam mudanças estruturais do solo, como prejudicam sua biodiversidade e capacidade de retenção de umidade, comprometendo, localmente, serviços ecossistêmicos urbanos, em especial os relacionados à drenagem do solo, evapotranspiração e regulação do clima local. A drenagem é prejudicada, pois a porosidade criada pela grama é superficial, propiciando a compactação do solo abaixo de suas raízes. Por sua vez, o solo compactado configura ambiente inóspito para a formação de biomassa viva, principalmente a originária de fungos e bactérias, bem como para a degradação da lignina e

¹¹ De acordo com M. R. G. CONZEN (1966), a forma urbana tem diferentes graus de resolução: o edifício e seu lote; a rua e o quarteirão – conformadores do tecido urbano –; e a cidade e a região.

formação de húmus – normalmente associados à formação de serrapilheira sobre o solo (GOWER, 2003; LAL et al., 2004; ADANI e SPAGNOL, 2006; BONAM, 2008). Sem esses processos, há impedimento na agregação dos solos e decorrente formação de macroporos, responsáveis pela drenagem natural. A Figura 8 apresenta uma série representativa do modelo de arborização em praças gramadas, onde os gramados e áreas impermeáveis propiciam a compactação do solo abaixo das árvores.

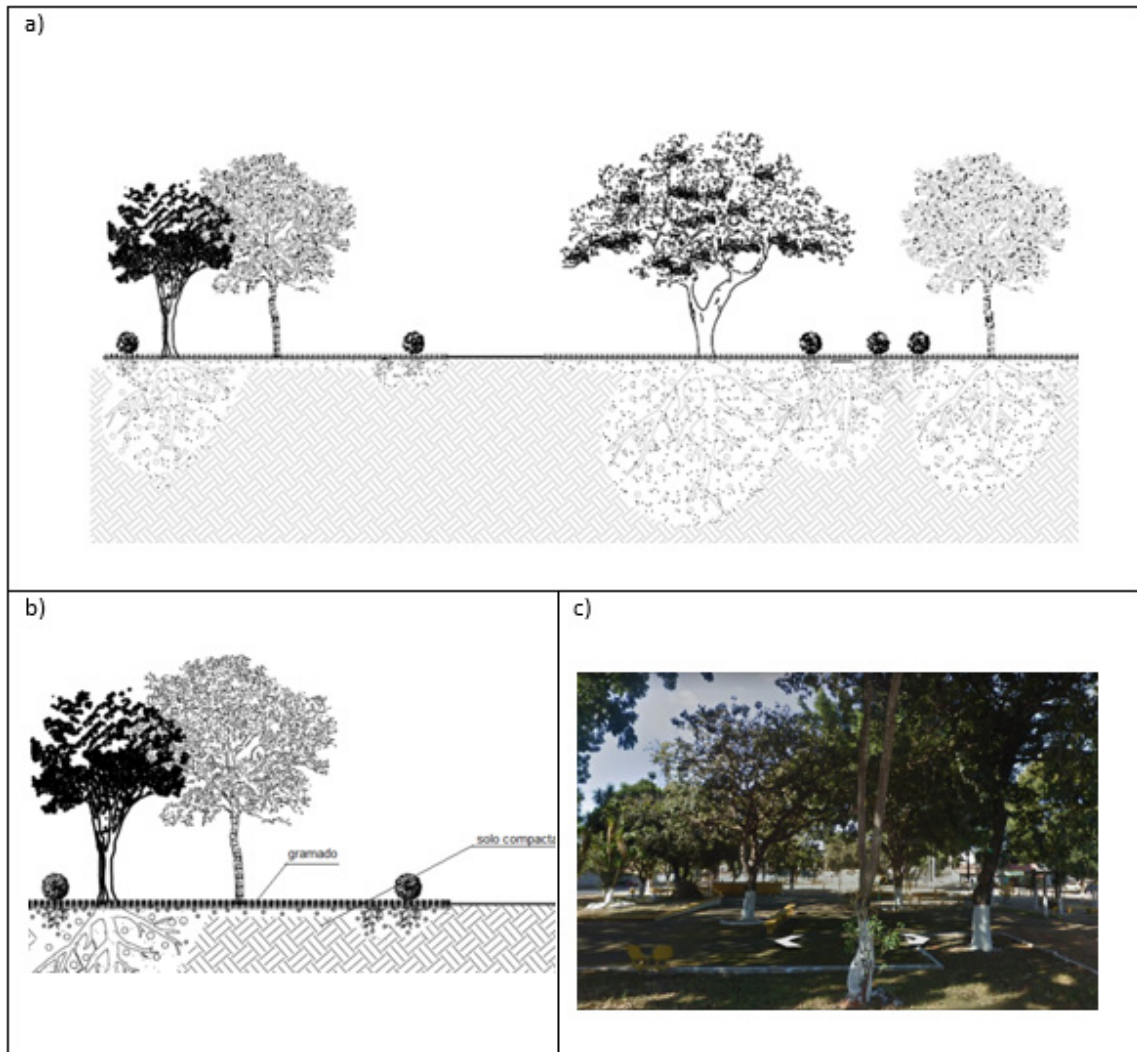


Figura 8: a) série representativa do modelo de arborização em praças gramadas; b) detalhamento do processo de compactação do solo; c) foto ilustrativa em uma praça na cidade do Guará, Distrito Federal.

O impacto sobre a capacidade de evapotranspiração das árvores pode ser relacionado também à compactação do solo abaixo das gramas. A ausência dos mesmos fatores responsáveis pela produção de macroporos impede a formação de microporos. Tais elementos, imbricados com a presença de serrapilheira, são responsáveis não apenas pela manutenção da umidade dos solos, mas pela reserva de água para vegetação durante períodos de estiagem. Em decorrência, a temperatura do solo aumenta, o que impacta a evapotranspiração em duas dimensões. Por um lado, há diminuição da biodiversidade responsável pela fertilidade do solo e disponibilização de nutrientes para o desenvolvimento da arborização,

prejudicando a capacidade fotossintética (LAL et al., 2004; BONAM, 2008). Por outro lado, o solo perde a capacidade de retenção de umidade, que seria utilizada pela vegetação na fotossíntese. Esses dois fatores, associados e sistêmicos, podem limitar gravemente a capacidade de evapotranspiração e reduzir o serviço de regulação microclimática da arborização ao mero sombreamento (HIEMSTRA, et al., 2017).

Em conclusão, em função desses impactos, depreende-se a necessidade de cautela no uso da arborização em tipologias próximas às das praças ajardinadas, com extensas áreas gramadas. Recomenda-se, assim, em áreas com essas características, a supressão gradual de camadas de grama, permitindo a formação de serrapilheira junto às árvores existentes, com o aproveitamento das folhas e detritos lenhosos, possibilitando o aumento da capacidade de regulação climática do conjunto arbóreo. Contudo, a manutenção de um contingente de áreas gramadas também deve ser considerada, pois poderiam compor, preferencialmente, os locais de estar da população, propiciando atividades de lazer, cultura, educação e repouso, também considerados importantes serviços ecossistêmicos urbanos.

Referências

- ADANI, F.; SPAGNOL, M.; Biochemical origin and refractory properties of humic acid extracted from maize plants: the contribution of lignin. *Biogeochemistry*, 82, pp. 55-85, 2006.
- ANDREUCCI, M. *Progettare l'involucro urbano. Casi studio di progettazione tecnologica ambientale*. Milano: Wolters Kluwer, 2019.
- BEILIN, R. Z.; WILKINSON C. Introduction: governing for urban resilience. *Urbanstudies*, v. 52, p. 1205-1217, 2015. Disponível em: . Acesso em: 10 jan. 2016.
- BÉLANGER, P. *Landscape as infrastructure*. New York: Routledge, 2017.
- BENEDICT, M. *Green infrastructure: linking landscapes and communities*. Washington D.C.: Island Press, 2006.
- BONZI, R.S. "Paisagem como infraestrutura", in P. Pellegrino, N. B. Moura (Orgs.), *Estratégias para uma infraestrutura verde*, Barueri: Manole, pp. 1-24, 2017.
- ECOFYS. *Assessing adaptation knowledge in Europe: ecosystem-based adaptation*. assessing adaptation knowledge in Europe: ecosystem-based adaptation. Publicação internacional: European Commission, 2017.
- FRIENDS OF ECOSYSTEM-BASED ADAPTATION-FEBA. *Making Ecosystem-based Adaptation Effective: A Framework for Defining Qualification Criteria and Quality Standards* (FEBA technical paper developed for UNFCCC-SBSTA 46). GIZ, Bonn, Germany, IIED, London, UK, and IUCN, Gland, Switzerland. 14 pp., 2017.
- HOBBS, R.J. Setting effective and realistic restoration goals: key directions for research. *Restoration Ecology*, Hoboken, v. 15, p. 354-357, 2007. Disponível em:

<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1526-100X.2007.00225.x/abstract>>. Acesso em: 4 nov. 2013.

HOBBS, R. J., HALLETT, L. M., EHRLICH, P. R., e MOONEY, H. A. Intervention ecology: applying ecological science in the twenty-first century. *BioScience*, 61(6), 442-450, 2011.

KIMURA, A., BAPTISTA, M. e SCOTTI, M. Soil humic acid and aggregation as restoration indicators of a seasonally flooded riparian forest under buffer zone system. *Ecological Engineering*. 98. 146-156, 2017.

OLIVEIRA, P.T.S.; LEITE, M.B.; MATTOS, T.; NEARING, M.A.; SCOTT, R.L.; DE OLIVEIRA XAVIER, R.; DA SILVA MATOS, D.M.; WENDLAND, E. Groundwater recharge decrease with increased vegetation density in the Brazilian cerrado. *Ecohydrology*, v. 10, p. 1-8, 2016. Disponível em; < <https://doi.org/10.1002/eco.1759>>. Acesso: 15.12.2020

PELLEGRINO, P. Paisagem como infraestrutura ecológica: a floresta urbana, in P. Pellegrino, N. B. Moura (Eds.), *Estratégias para uma infraestrutura verde*, Barueri: Manole, pp. 63-78, 2017

PERRING, M. P.; ELLIS, E. C. The extent of novel ecosystems: long in time and broad in space. *Novel ecosystems: Intervening in the new ecological world order*. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, p. 66-80, 2013.

MCHARG, I. L. *Design with nature*. New York: American Museum of Natural History, 1969.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT BOARD – MA, *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*, London: Island Press, 2005.

ROUSE, D.; BUNSTER-OSSA, I. *Green Infrastructure: A Landscape Approach*. Chicago: APA Planners Press, 2013.

SANT'ANNA, C.G. (2020), *A Infraestrutura Verde e sua Contribuição Para o Desenho da Paisagem da Cidade*. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Brasília – UNB.

STEINER, F.; WELLER, R.; M'CLOSEY, K.; FLEMING, B. *Design with nature now*. Connecticut: Lincoln Institute of Land Policy, 2019.

STEAD, D. Dimensions of territorial governance. *Planning Theory & Practice*, v. 14, p. 142-147, 2013. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros>. Acesso em: 22 jan. 2017.

WALDHEIM, C., *Landscape as urbanism: a general theory*. New Jersey: Princeton University Press, 2016.

ZAID, R. Z.; PELLING, M. Institutionally configured risk: assessing urban resilience and disaster risk reduction to heat wave risk in London. *Urbanstudies*, v. 52, p. 1218-1233, 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/zwT9Fl>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

CAPÍTULO 6

Mobilidade como um Serviço: Indicações de Estratégias Interventivas no Hábito de Usar Automóvel Baseadas na Revisão da Literatura



Zuleide Oliveira Feitosa

Graduada em Psicologia, com mestrado em Psicologia e doutorado em Transportes pela UnB. Possui pós-doutorado em políticas públicas e uso do solo, com foco em mobilidade urbana saudável e sustentável. Membro da GOVCOPP da Universidade de Aveiro, Portugal. Atua como docente no curso departamento de processos psicológicos básicos da Universidade de Brasília e como pesquisadora colaboradora do programa de Pós-graduação Graduação em Transportes da Universidade de Brasília. Atua também na formação de profissionais da área de trânsito (psicólogos e gestores públicos), ministrando disciplinas nas áreas de educação para o trânsito, avaliação psicológica, psicologia social, psicologia ambiental!



Pastor Willy Gonzales Taco

Engenheiro Civil, Mestre em Transportes Urbanos pela UnB, Doutor em Engenharia de Transportes pela EESC/USP, com especialização (Diplomado) em Segurança Viária pela ANSV-UNAL/Bogotá/Colômbia. Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Transportes da Universidade de Brasília. Atua na promoção de inovação e startup, Líder do Grupo de pesquisa do CNPq Comportamento em Transportes e Novas Tecnologias (CTNT), com pesquisas em Novas Tecnologias em Transportes, Sistemas Inteligentes e é coordenador do Observatório da Mobilidade Urbana Segura, Saudável e Sustentável (Mob3S) e do Programa de Mobilidade Corporativa 3S.



Diego Rosa Mota

Engenheiro Civil e mestre em Planejamento de Transportes pela Universidade de Brasília (UnB). cursou parte da graduação na Heriot-Watt University no Reino Unido como bolsista do programa Ciência sem Fronteiras. Atua como engenheiro no Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Em 2013 foi premiada no 9º Concurso de Monografia CBTU e recebeu moção de aplausos na Câmara Legislativa de Luziânia-GO pela elaboração do projeto: "Modelo Funcional para o trem Luziânia-Brasília: Uma proposta de Integração e Desenvolvimento Regional".



Ingrid Luiza Neto

Graduada em Psicologia e Pedagogia, com mestrado e doutorado em Psicologia pela UnB. Possui pós-doutorado em psicologia, com foco em mobilidade urbana saudável e gestão participativa. Atua como docente no curso de psicologia da Universidade Católica de Brasília e da UNINAS-SAU Brasília. Atua também na formação de profissionais da área de trânsito (psicólogos, gestores públicos, instrutores e diretores), ministrando disciplinas nas áreas de educação para o trânsito, avaliação psicológica, psicologia social, psicologia ambiental e sustentabilidade.

Mobilidade como um Serviço: Indicações de Estratégias Interventivas no Hábito de Usar Automóvel Baseadas na Revisão da Literatura

Zuleide Oliveira Feitosa
Pastor Willy Gonzales Taco
Diego Rosa Mota
Ingrid Luiza Neto

Introdução

Na literatura, o conceito de *Mobility as a Service* – MaaS compreende o setor de transportes como um sistema cooperativo interconectado (Karmagianni et al., 2018; Karmagianni et al., 2016) cujo intuito é oferecer serviços que refletem as necessidades de mobilidade dos clientes (Hietanen, 2014). Entretanto, o desenvolvimento concreto da MaaS é limitado devido a carência de discussão das políticas públicas de transportes (Smith & Hensher, 2020) e a baixa superação dos desafios apontados para a área (Calderón & Miller, 2019).

Mullalic and Rouwendal (2020) realizaram um estudo na cidade de Copenhague e identificaram que a redução do uso do carro é pouco significativa (3%) mesmo quando o transporte público oferta melhoria na qualidade. No Brasil, Feitosa (2017) identificou que o hábito pode ser uma barreira para a mobilidade como serviço. Já na Suécia, a MaaS é citada como um exemplo do avanço na integração de vários modos de transportes (Karlsson, Sochor & Strömberg, 2016), e na Finlândia como uma possibilidade de avanço do campo na cidade (Eckhardt et al., 2018).

Desse modo, a MaaS é apreciada por várias abordagens tais como: a demanda de viagens (e.g., Calderón & Miller, 2019; Smith, Sochor, & Karlsson, 2018; Jitrapitrom et al., 2017; Kamargianni & Matyas, 2017), os aspectos espaciais da cidade, como o planejamento urbano (Socho, Arby, & Karlsson, 2017; Tinnilä, 2016), e os modelos de negócios relacionados ao sistema de transportes (e.g., Aapaoja et al., 2017); além de ser apreciada pelas composições de diferentes modalidades de serviços de transportes (Eckhardt et al., 2017; Sarasini, Sochor, & Arby, 2017) como, por exemplo, os sistemas de bike-sharing, car-sharing, car pooling ou aluguel de carro (e.g., Karmagianni et al., 2016).

A necessidade de integrar os diferentes modos alternativos de transporte tem sido incentivada por meio do uso de recursos da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), como, por exemplo, a administração de serviços de transporte por meio de provedores (e.g., *Helsinki, UbiGo, Smile, Mobility mix* e *Optimod'*

Lyon). Para Klein and Smart (2017), a *MaaS* está muito mais relacionada aos aspectos econômicos e globais do que à topologia da cidade ou às demandas de viagem. De qualquer modo, há um consenso, entre os pesquisadores, de que a visão da *MaaS* é desenvolver a integração de diferentes alternativas de transporte sem atribuir maior importância ao uso de veículos individuais (Karmagianni et al. 2018; Kamargianni et al., 2016).

Nesse caso, a visão de integração de transportes tem ocorrido muito lentamente nos países em desenvolvimento, provavelmente em função das políticas reforçadoras do uso do automóvel, que também favorecem o hábito de usar automóvel (Feitosa, 2017). No Brasil, por exemplo, tem-se, de um lado, os usuários de transporte coletivo, que tendem a considerar o transporte público como escasso e pouco pontual (Silva, 2013), e, de outro lado, os usuários do automóvel, que percebem o carro como um meio de transporte eficiente (Neto et al., 2012; Neto, 2014; Feitosa et al., 2014); soma-se a esse panorama o alto custo do transporte urbano e de carga no Brasil (Ntu, 2019; Confederação Nacional de Transporte – CNT, 2017).

Diante do contexto descrito, identificou-se estratégias que podem favorecer a implementação das políticas de Mobilidade sustentável e apontou-se uma agenda de pesquisa, com base na literatura, cuja aplicação pode ocorrer no contexto dos países em desenvolvimento, como o Brasil. A partir da revisão da literatura, espera-se contribuir para a área de transporte e comportamento, disponibilizando uma agenda de pesquisa para a promoção da Mobilidade como um Serviço. No decorrer do texto, apresenta-se sugestões para a quebra do hábito de usar automóvel, considerando os desafios para os pesquisadores e gestores de mobilidade.

Experiências de integração e mobilidade como um serviço

A *MaaS* é um conceito que vem sendo aplicado em algumas das cidades mais desenvolvidas do mundo (Smith, Sochor, & Karlsson, 2018; Jitrapitrom et al., 2017). Existe uma grande concentração desses esquemas na Alemanha, França, na Inglaterra e nos Países Baixos, onde foram identificados quinze sistemas *MaaS* (Kamargianni et al., 2017) implementados ou em adaptação.

Nessa perspectiva, a concepção da *MaaS* é embasada em três pilares segundo Kamargianni et al. (2016): (1) integração parcial (o esquema possui ticket parcial, pagamento e integração por meio de TIC); (2) integração avançada sem pacotes de mobilidade (o esquema permite ingresso total à rede, pagamento e integração por meio de TIC); (3) integração avançada com pacotes de mobilidade (o esquema possui um bilhete que inclui o pagamento, a integração por meio de TIC; e (4) pacotes de mobilidade.

Na Tabela 1, apresenta-se alguns exemplos de como a integração de diferentes modos de transporte vem acontecendo em vários países.

Esquema	Área	Tipo de integração*				Modos
		1	2	3	4	
STIB+Cambio	Bruxelas	x				car-sharing, trem, transporte público urbano, táxi
Qixxit	Alemanha			x		bike-sharing, car-sharing, aluguel de carro, trem, transporte público urbano, táxi + avião, ônibus
Moovel	Alemanha		x	x		bike-sharing, car-sharing, aluguel de carro, trem, transporte público urbano, táxi
Switchh	Hamburgo	x		x		bike-sharing, car-sharing, aluguel de carro, trem, transporte público urbano, táxi + ferry
Hannovermobil	Hannover	x	x	x		car-sharing, aluguel de carro, trem, transporte público urbano, táxi
EMMA	Montpellier Sul da França	x	x	x		bike-sharing, car-sharing, trem, transporte público urbano
Mobility Mixx	Holanda	x	x	x		bike-sharing, car-sharing, aluguel de carro, trem transporte público urbano, táxi
NS-Business Card	Holanda	x	x	x		bike-sharing, car rental, trem, transporte público urbano, táxi
Radiuz Total Mobility	Holanda	x	x	x		bike-sharing, car-sharing, aluguel de carro, trem, transporte público urbano, táxi
Smile	Viena	x	x	x		bike-sharing, car-sharing, aluguel de carro, trem, transporte público urbano, táxi
Optimod' Lyon	Lyon	x	x	x		bike-sharing, car-sharing, aluguel de carro, trem, transporte público urbano, táxi + flight, transporte de mercadorias
BeMobility	Berlin	x	x	x		bike-sharing, car-sharing, trem, transporte público urbano, táxi
SHIFT	Las Vegas	x	x	x	x	bike-sharing, car-sharing, car rental, transporte público urbano
UbiGo	Gotemburgo	x	x	x	x	bike-sharing, car-sharing, aluguel de carro, transporte público urbano
Helsinki Model	Helsínque	x	x	x	x	bike-sharing, car-sharing, aluguel de carro, trem, transporte público urbano, táxi + transporte sob demanda
Helsinki Model	Helsínque	x	x	x	x	bike-sharing, car-sharing, aluguel de carro, trem, transporte público urbano, táxi + transporte sob demanda

Tabela 1 – Tipos de integração de mobilidade (MaaS). Tipos de integração: 1) integração do bilhete; 2) integração do pagamento; 3) integração das TIC; e 4) integração do pacote de mobilidade na fase experimental. Fonte: Elaboração própria a partir de Kamargiani et al. (2016).

A Tabela 1 fornece um breve panorama do funcionamento da mobilidade integrada através do esquema MaaS em várias cidades de países desenvolvidos. Verifica-se que os seis modos mais comumente observados são a bicicleta-compartilhada (bike-sharing), os automóveis compartilhados (car-sharing), o aluguel de automóveis, o transporte ferroviário, o transporte público urbano e o táxi. Essa perspectiva da MaaS ainda está muito distante das práticas vivenciadas nos países em desenvolvimento, entretanto, a literatura da área do transporte e trânsito tem ressaltado a importância da mudança de hábito do uso do automóvel e de se encorajar o uso de modos de transporte mais saudáveis e sustentáveis.

Eriksso, Garvill & Nordlund (2008) elencam vários estudos que: a) verificaram a motivação para o uso do automóvel; e b) apresentaram sugestões para enfraquecer ou interromper o uso habitual do carro. Eles entenderam que se não houver motivação para reduzir o uso do carro não será possível esperar que haja mudança do modo de escolha da viagem (Gärling, Gärling & Loukopoulos, 2002; Wood, Tan & Witt, 2005).

Para avaliar o hábito de viagem, alguns pesquisadores têm realizado estudos baseados em variáveis demográficas e temporais, amparando-se em grandes amostras. Minnen et al. (2015), por exemplo, utilizaram um banco de dados do hábito de viagem diária com 1.780 participantes, analisando a atividade em nível individual. Fizeram pareamento dois a dois das variáveis tempo (recorrência) e timing (cronometragem) por intervalos de tempo (5, 10, 20 e 30 min), cujos resultados mostraram que pessoas, na idade entre 25 e 45 anos, têm um maior hábito de viagem diária do que outros grupos de idade.

Outros estudos, utilizando amostras mais reduzidas, buscaram compreender o hábito de utilizar o automóvel a partir da investigação de características psicológicas do indivíduo. Eriksson, Garvill & Nordlund (2008), por exemplo, realizaram um experimento de campo com 77 participantes, dividindo a amostra em dois grupos: um experimental e outro controle. Inicialmente, os participantes de ambos os grupos responderam ao Inventário de Resposta ao Hábito (IRH). Em seguida, uma medida interventiva foi aplicada ao grupo experimental e uma nova aplicação do IRH foi conduzida, para fins de comparação entre os grupos pré-intervenção, durante a intervenção e pós-intervenção. Os resultados do estudo de Eriksson, Garvill & Nordlund (2008) revelaram que quando o uso habitual do carro é interrompido a escolha do modo de transporte é feita de maneira deliberada. Portanto, a redução do uso do carro pode ser facilitada pela interrupção do uso habitual do carro a partir de uma intervenção feita na escolha pelo modo de transporte.

O hábito e a escolha em transportes

O hábito é uma estrutura cognitiva que é aprendida, armazenada e recuperada da memória quando os indivíduos percebem uma situação particular (Steg & Vleck, 2009). O hábito é, portanto, um comportamento aprendido que, após ser repetido várias vezes, torna-se automático. A relevância do automatismo ocorre, pois, sendo útil e funcional, acarreta a obtenção de algum resultado, e isso considerado, vale compreender a composição e as características do hábito. Observa-se, também, que o estudo do hábito na área do transporte tem avançado à medida que os meios de transporte se tornam mais diversificados (Setiawan, Santosa, & Sjafruddin, 2015; Eriksson, Garvill & Nordlund, 2008; Gärling & Axhausen, 2003; Verplanken et al., 1994).

As mais recentes tentativas de compreender o papel do hábito na escolha do modo de viagem têm reunido diferentes áreas do conhecimento científico nas ciências sociais, tais como as abordagens associacionistas (cognitiva) e a abordagem do script (enfoque comportamental). A investigação acerca da regularidade do tempo de viagem e da recorrência da viagem de automóvel, num dado intervalo de tempo, tem importância quando deseja-se entender o hábito de escolha do uso de automóvel (Minnen et al., 2015).

Torna-se relevante, portanto, examinar as variáveis relacionadas ao uso do carro, bem como a intenção para reduzir o uso quando o propósito é a mudança de hábito. Entendendo o hábito como um padrão de comportamento relativamente estável, que foi reforçado no passado (Setiawan, Santosa & Sjafruddin, 2015), ele não pode ser compreendido como advindo de consciência não reflexiva, pois não se encaixa na concepção behaviorista de resposta a um estímulo (Minnen et al., 2015); trata-se de um conjunto de disposições duráveis, ou seja, esquemas rígidos de atividade diária, que resultam em um comportamento repetido.

Esses autores consideram que a conduta habitual não necessariamente é precedida por uma intenção comportamental (nos termos de Ajzen, 1991), pois um forte hábito pode ajudar a prever um comportamento, para se fazer uma escolha, muito mais precisamente do que a intenção. De acordo com a Teoria do Comportamento Planejado (TCP – Ajzen, 1991), a motivação para fazer um tipo de escolha de viagem, em particular, é capturada pela intenção. Portanto, a intenção é essencial para a escolha deliberada da viagem (Feitosa, 2017). Verplanken and Orbell (2003) afirmaram que o hábito é uma construção psicológica e não simplesmente uma frequência comportamental passada. Para Friedrichsmeier et al. (2013), todas as percepções acerca do hábito e a visão do comportamento passado, como um antecedente do hábito, são medidas válidas, mas não ajudam na diferenciação dos conceitos sobre o hábito.

Para que se apreenda o que é o hábito, no âmbito do transporte, Minnen et al. (2015) sugerem que o hábito de viajar é baseado em três pressupostos: (1) viajar tem um propósito ou é uma atividade sequencial; (2) viajar tem recorrência de tempo; e (3) viajar tem regularidade de horário. Para esses pesquisadores, o comportamento habitual de viajar (atividade de viagem) é uma das mais importantes razões para a realização de pesquisas sobre o uso de diferentes modos de transporte. Abrahamse et al. (2009) afirmam que é necessário entender o motivo das pessoas terem o hábito de ir para o trabalho de carro, ao invés de utilizar outros modos de transporte, considerando os antecedentes comportamentais. Verplanken and Orbell (2003) declararam que o hábito é uma ação repetida que se baseou num comportamento anterior. Numa revisão sistemática da literatura, Friedrichsmeier et al. (2013) apontaram que o conceito do hábito está enraizado em duas diferentes visões: associacionista e do script. A Tabela 2 descreve as bases dessas abordagens teóricas, apontando diferenças e similaridades entre a visão associacionista e do script.

Visão associacionista do hábito	<ul style="list-style-type: none"> • Baseia-se na suposição de uma conexão associativa entre estímulo e resposta. • Os estímulos contextuais se associam direta ou indiretamente a um dado comportamento, por meio da repetição frequente deste. • O comportamento pode se associar arbitrariamente aos aspectos de um contexto social estável.
Visão do script do hábito	<ul style="list-style-type: none"> • Scripts são esquemas ou estruturas cognitivas, que representam a associação entre o comportamento e o objetivo num determinado contexto. • Scripts estão conectados a um objetivo comportamental específico. • Hábitos representam a sequência de um comportamento passado. • Hábitos são resultados da execução repetida de uma ação como resposta a um estímulo específico. • Hábitos são concebidos como scripts.
Diferenças	<ul style="list-style-type: none"> • Scripts se baseiam em esquemas generalizados e não dependem de um contexto específico. Na abordagem associacionista, a formação do hábito ocorre por associação e depende de um contexto específico; • O script pode incluir um processo de tomada de decisão em si, pelo fato de guiar a atenção, selecionar a informação adquirida e usá-la na formação da decisão. Já a associação é formada pela representação do contexto situacional e da resposta comportamental. Portanto, o comportamento necessita de uma situação estável para ocorrer. • Scripts podem existir em diferentes níveis de especificidades. Os scripts mais gerais aplicam-se a situações mais amplas. Já no contexto associacionista, se o estímulo varia com o contexto, situações parecidas podem eliciar a resposta aprendida em alguns casos, mas em outros casos não.
Similaridades	<ul style="list-style-type: none"> • Um script rígido, que é altamente específico em uma dada situação, não pode ser diferenciado de uma associação entre a situação e a resposta comportamental. De outro modo, se o contexto situacional é uma representação do objetivo, das motivações e dos comportamentos anteriores, a ideia de script pode ser concebida em termos associacionistas.

Tabela 2 – Bases teóricas, diferenças e similaridades dos enfoques associacionista e do script. Fonte: Elaboração própria, a partir de Friedricsmeier et al. (2013).

Outra particularidade do hábito é que ele tende a se estabilizar no tempo, principalmente quando o contexto é estável. Isso quer dizer que o comportamento de usar o carro para ir ao trabalho, todos os dias da semana, tenderá a acontecer sem que o indivíduo mude de opção voluntariamente, ou seja, quando um comportamento habitual se mantém ao longo do tempo entende-se que um script se estabeleceu por aprendizagem (Friedricsmeier et al., 2013; Verplanken et al., 1998; Steg & Vleck, 2009). Independente dos enfoques, associacionista ou do script, observa-se que o hábito aparece através de um comportamento aprendido sobre uma situação dada e que, após se repetir por várias vezes, pode se tornar automático. Desse modo, o comportamento apreendido que passou a se repetir, não pela ocasião de ser desencadeado por um estímulo, também pode se tornar eficiente, uma vez que não mais requer pensar para agir.

O hábito é composto por três características principais: (1) repetição, que indica quantas vezes no tempo um mesmo comportamento pode ocorrer; (2) automaticidade, que evidencia o comportamento habitual automatizado, desencadeado por estímulos que se relacionam com a tarefa a ser realizada naquele momento; e (3) funcionalidade, que se refere à utilidade do hábito para a vida diária

(Bargh, 1994; Aarts, Verplanken, & Van Knippenberg, 1997; Verplanken & Orbell, 2003; Verplanken et al., 1994; Verplanken et al., 1998; Feitosa, 2017). Considerando os dados dispostos na Tabela 2, verifica-se que a visão associacionista e a do script não são mutuamente excludentes (Friedricsmeier et al., 2013).

Segundo Bargh (1994), Verplanken and Orbel (2003), Silva (2013) e Feitosa (2017), o hábito apresenta as seguintes características: baixa intencionalidade, pois à medida que se repetem no tempo, ocorrem com eficiência e pouca intencionalidade; baixa consciência – as decisões rotineiras não passam por uma escolha amplamente consciente; baixa controlabilidade – como mencionado anteriormente, mesmo que haja vontade de ir a pé ou de bicicleta para determinado local, uma pessoa pode fazer uso do carro sem maiores deliberações; e eficiência, visto que executar uma tarefa habitual não requer esforço mental. As dimensões da resposta automática (baixa intencionalidade, baixa consciência, baixa controlabilidade, eficiência) correspondem a diferentes características na composição da automaticidade do hábito, que são responsáveis pela automação de um hábito. Elas podem desencadear os comportamentos habituais com intensidades diferenciadas (Bargh, 1994), e, muitas vezes, a depender da intensidade da resposta automática, há grande dificuldade na mudança de um hábito.

Friedricsmeier et al. (2013) ressaltam que a força do hábito e a estabilidade da situação estão associadas à manutenção do hábito, ou seja, a formação do hábito está conectada à constância do comportamento habitual, o qual se mantém estável com o passar do tempo. Assim, quanto mais um hábito se repetir mais difícil será mudá-lo. Entretanto, Steg and Vleck (2009) afirmam que, no uso do automóvel, quanto mais estratégias existirem para o enfraquecimento do comportamento habitual, menores serão as barreiras para a integração da mobilidade.

A Tabela 3 traz um resumo das pesquisas mais recentes que buscam explicar a quebra ou enfraquecimento do hábito de uso do automóvel. Nessa tabela, apresenta-se, entre outras informações, o ano, o local de realização da pesquisa, a teoria considerada no estudo, o objetivo proposto, a amostra, e o método de coleta e análise dos dados. Assim, obtém-se, de modo prático e visual, uma leitura de como as pesquisas sobre mobilidade complementar e hábito têm influenciado comportamentos de viagem.

Autores (ano)	Local (área de atuação)	Resumo dos objetivos da pesquisa	Base teórica utilizada na pesquisa	Método de coleta dos dados	Variáveis	Amostra (N)	Método de Análise
Mullalic & Rouwendal (2020)	Holanda (Economia)	Desenvolver um modelo de escola do uso do carro	Geografia	Mapeamento georeferenciado	Uso do automóvel e transporte público	166 áreas mapeadas	Modelagem por Logit
Smith; Hensher (2020)	Suécia	Fornecer uma ferramenta que possa ser usada para identificar correspondências e incompatibilidades entre programas de política MaaS	Literaturas colaborativas de inovação em transição e sustentabilidade	Survey	Programa de políticas MaaS Transporte para Nova Gales do Sul	Entrevista com 33 pessoas	Análise de categorias

Calderón & Miller (2019)	Canadá	Fornecer conceitos operacionais da MaaS	Transportes	Levantamento bibliográfico	Mobilidade Serviços		Revisão de Literatura
Karmagianni et al. (2018)	Reino Unido	Dicionário da mobilidade como um serviço (MaaS)	Definições e conceitos teóricos	Levantamento bibliográfico	Mobilidade Serviços		Revisão de literatura
Feitosa (2017)	Brasil (Engenharia civil e Transportes)	Propor um modelo de uso do automóvel com base em processos conscientes e habituais (não conscientes)	TCP e motivação	Survey	Hábito Intenção Comportamento Controle Comportamental Normas Motivos afetivos, simbólicos e instrumentais	248	Modelagem por equações estruturais
Légal et al. (2016)	França (Psicologia)	Investigar em que extensão o efeito automático do hábito e a repetição são suscetíveis em diferentes indivíduos	Psicologia cognitiva e Tomada de decisão em transporte	Survey	Hábito do transporte Atenção Priming	86	Análise de covariância
Setiawan et al (2015)	Indonésia (Eng. Civil)	Investigação dos fatores psicológicos que influenciam o comportamento e uso do carro	*TCP e Modelo de Ativação da Norma	Survey	Intenção Hábito Acesso ao carro Norma Pessoal Controle Percebido Consciência das Consequências Atribuição de Responsabilidade	312	Análise de covariância
Simsekoglu et al (2015)	Turquia e Noruega (Psicologia e Pesquisa Social)	Identificar clusters de usuários de transporte e examinar o papel das prioridades de transporte, atitude, hábito de uso do carro	Os autores referenciam alguns estudos sobre atitude (não consideram modelos teóricos)	Survey	Atitude Hábito Intenção de uso do Transporte Público	546	Análise de regressão logística
Nordfjaern et al (2014)	Noruega e Turquia (Psicologia)	Examinar o papel relativo aos componentes da TCP, hábito, e resistência à mudança no uso do transporte público	*TCP	Survey	Hábito de usar o carro Resistência à mudança Atitude Norma Social Controle Comportamental	1039	Análise correlacional
Yalachkov et al (2014)	Alemanha e Reino Unido (Psicologia e Geografia)	Compreender como o hábito determina a rotina diária de viagem	Revisão Teórica, ênfase na vida diária (geografia) e hábito (neurociência).	Revisão da literatura	Comportamento de viagem Hábito		Busca dos artigos por meio da base de dados LILACs
Friedrichsmeier (2013)	Alemanha (Psicologia)	Lançar luz sobre a natureza precisa do conceito de hábito, em particular sobre a questão de generalidade do hábito	Modelo de ativação da Norma de Schwartz (1981) e *TCP	Survey	Situação restritiva Intenção Modo de escolha Hábito	1048	Correlações bivariadas
Silva (2013)	Brasil (Psicologia)	Investigar o uso habitual do automóvel e a percepção do transporte coletivo (ônibus urbano)	Psicologia Cognitiva e Psicometria	Survey	Hábito e Uso do carro	1208	Validação da medida psicológica do hábito
Abrahamse et al (2009)	Nova Zelândia e Canadá (Psicologia)	Verificar se as variáveis da TCP refletiam autointeresse	*TCP	Survey	Autointeresse Atitude Norma Pessoal Controle Percebido Intenção e Comportamento de uso do carro	130	Teste correlacional

Eriksson et al (2008)	Suécia (Psicologia)	Interromper o hábito do uso do carro por meio de uma intervenção	*TCP, teoria ambientalista, teoria do valor-crença-norma	Experimento de Campo	Hábito Motivação para o uso do carro	71	Teste correlacional
-----------------------	---------------------	--	--	----------------------	--------------------------------------	----	---------------------

*TCP (Teoria do Comportamento Planejado)

Tabela 3 – Exemplo sumário da literatura acadêmica em mobilidade. Fonte: Elaboração própria

A investigação da composição e da formação do hábito nos permite compreender as manifestações dos comportamentos habituais, sua intensidade e força. Verplanken et al (1997) e Wood & Hüniger (2016) enfatizam que o indivíduo age de forma habitual mesmo quando entra em conflito com sua intenção. Por essas e outras razões, no contexto da mobilidade, o hábito tem sido considerado uma barreira importante para o desenvolvimento de alternativas de transporte sustentáveis (Steg & Vleck, 2009). Por fim, compreender a composição do hábito também implica na possibilidade de se propor estratégias para enfraquecê-lo ou até mesmo para estimular “novos hábitos”.

Vários autores consultados nesta revisão de literatura descrevem medidas interventivas para quebrar, enfraquecer ou prevenir o hábito de usar o automóvel (Feitosa, 2017; Légal et al., 2016; Setiawan, Santosa & Sjafruddin, 2015; Simsekoglu et al., 2015; Nordfjaern, Simsekoglu & Rundmo, 2014; Yalachkov et al., 2014; Friedrichsmeier, Matthies & Klöckner, 2013; Abrahamse et al., 2009; Eriksson, Garvill & Nordlund, 2008; Klöckner & Matthies, 2004; Bamberg, Rölle & Weber, 2003). É possível criar estratégias de intervenção em que novos hábitos sejam instaurados, visto que, por exemplo, apenas aumentar a oferta do transporte público não parece ser suficiente para mudar o hábito de utilização do automóvel (Silva, 2013). Entretanto, quando o usuário se encontra em um novo contexto de decisão (como a mudança de domicílio), verifica-se forte reação comportamental do uso do carro, como substituição do hábito por novo comportamento e introdução de outros modos de transporte para a jornada ao trabalho.

Para o desenvolvimento de novos hábitos, há de se considerar que a mobilidade é um conceito que serve para descrever os sistemas que permitem que as pessoas se movimentem em torno de suas necessidades, tendo o usuário como principal ator. Assim, uma nova concepção da mobilidade deve incluir uma mudança de paradigma, especialmente no que se refere ao processo de gestão do sistema de transporte (Kalanick, 2016). Nesse contexto, a inclusão da MaaS proporciona uma gestão de serviços que viabiliza a integração de diferentes modos de transporte (metrô e bicicleta; ônibus e metrô; car-sharing, metrô e ônibus, entre outros). Segue, na Tabela 4, a indicação de estratégias para a implementação das políticas de mobilidade.

Estratégias para implementação das políticas de mobilidade

- Utilizar painéis de mensagens (placas luminosas ao longo da via) como lembretes eletrônicos, com avisos de que o transporte coletivo é pontual e confortável.
- Manter os bons hábitos (como ir a pé a locais próximos da residência) ou mudar os maus (como usar o automóvel todos os dias para ir ao trabalho).
- Sensibilizar os usuários de carro, lembrando-os dos efeitos nocivos que o carro produz, com apelo para o senso de responsabilidade.
- Focar no aumento da atratividade e da oferta do Transporte Público na área urbana, melhorando o tempo de espera.
- Explorar situações críticas (rotina de viagem do indivíduo) para obter informações mais efetivas que subsidiem o desenvolvimento de políticas de sustentabilidade urbana.
- Manter o foco no sentimento de obrigação moral (norma pessoal) para formar hábitos mais saudáveis.
- Aguçar o senso de responsabilidade dos usuários sobre os aspectos negativos do uso do carro, tanto nas perspectivas de melhorias da intervenção estrutural (desenho da cidade, uma forma de evitar acidentes e mortes, por exemplo), quanto psicológicas (variáveis individuais).
- Desenvolver políticas de redução do uso do carro, focadas na norma pessoal; especificamente, aumentar a consciência do usuário de carro para as consequências produzidas pelo uso do automóvel como, por exemplo, a poluição do ar, as doenças respiratórias, o uso de fonte de energia não renovável e altamente poluente como o petróleo, entre outros.
- Usar o *SRHI para determinar ou monitorar a força do hábito, sem medir a frequência comportamental.
- Melhorar, na perspectiva política, por meio de campanhas, a possibilidades de redução do uso do carro por meio de sensibilização da percepção dos usuários.

*SRHI (Inventário de Estímulo Resposta do Hábito)

Tabela 4 – Sugestões de políticas para quebra do hábito de uso do automóvel

As medidas interventivas descritas na Tabela 4 retratam, de certo modo, uma possibilidade de quebra ou o enfraquecimento do hábito de usar o automóvel. Enfraquecer um hábito pode abrir oportunidades para que novos hábitos sejam criados. Desse modo, é pertinente levantar a hipótese de que hábito pode se tornar parte de estratégias de implementação na área do transporte (Orbell, Hodgkins & Sheeran, 1997) e, ao mesmo tempo, um desafio para os gestores da MaaS.

Além do hábito de uso do automóvel, o desafio para a MaaS consiste em ampliar a percepção dos indivíduos sobre a oferta de outras opções de transporte (e.g., trem, metrô, bicicleta, ônibus), incluindo alternativas para o uso do automóvel que não necessitem ser proprietário de um carro (car-sharing, car-pooling e transporte por aplicativo, como Uber, 99Taxi, Cabify). Apesar do automóvel ainda ocupar um lugar dominante na área dos transportes (Kalanick, 2016). Dessa maneira, o desafio da MaaS retoma a ideia principal que define mobilidade como um conceito centrado no usuário, o que implica reconhecer que os produtos e serviços de transporte devem responder às necessidades e às preferências dos usuários.

Portanto, a MaaS tem o desafio de mudar a percepção do usuário (de que ele não precisa ser proprietário de um automóvel), bem como ampliar a ideia do uso do transporte compartilhado (uber, Select, Blac etc.) como alternativa. A

prontidão para deixar de ser proprietário e utilizar modos alternativos ou complementares de transportes implica numa mudança de visão sobre a mobilidade, a qual pode levar a uma série de impactos positivos tanto para os indivíduos, quanto para o ambiente, a sociedade e a economia.

Conclusões e futuras pesquisas

Nesse trabalho de revisão da literatura acerca das Políticas de Mobilidade como Serviço, identificou-se que os países desenvolvidos têm vivenciado uma forte mudança na percepção dos usuários de transportes, principalmente na Europa Ocidental, na Alemanha e nos Países Baixos, onde há grande concentração de múltiplos esquemas MaaS, com adoção de sistemas de integração parcial e avançada, com e sem pacotes de mobilidade. Essa nova visão sobre a mobilidade integrada vem influenciando os países em desenvolvimento, como Índia, China, Colômbia e Brasil, mas ainda de maneira tímida.

Buscou-se ressaltar a importância de compreender-se a composição do hábito, para identificar quais estratégias podem fortalecê-los, quebrá-los ou enfraquecê-los, a fim de encontrar alternativas que estimulem novos hábitos mais sustentáveis e saudáveis, que não intensifiquem o uso do automóvel.

Então, é possível implantar a concepção de MaaS, oferecendo uma visão integradora do transporte alternativo, da qual o automóvel faça parte de modo compartilhado. Nessa direção, embora as sugestões para quebra de hábito presentes na literatura se mostrem coerentes e necessárias, os principais desafios para os pesquisadores e gestores de mobilidade é romper as resistências das políticas orientadas para o sistema de transporte de cada localidade. Sugere-se, também, a partir da reflexão provida por essa revisão da literatura, uma agenda de pesquisa futura, que considere as seguintes temáticas: (1) Impacto da aprendizagem na formação de "bons hábitos"; (2) Levantamento das políticas públicas locais e da concepção que os indivíduos têm sobre o uso do carro; (3) Influência dos fatores motivacionais na escolha habitual; (4) Quebra do hábito de usar o carro através da motivação, como alternativa para promover o desenvolvimento do transporte sustentável; (5) Estratégias para a mudança do hábito de usar carro através do estudo do hábito; e (6) Hábito do transporte individual e desafios para pesquisadores e gestores da MaaS.

De certo modo, os tópicos de pesquisa sugeridos se referem a diminuição do hábito de uso do automóvel, favorecendo a Mobilidade como Serviço e incentivando discussões de propostas que viabilizem o transporte integrado. Considerando que o principal modo de viabilização da mobilidade integrada esteja na "mente integrada", ou seja, na capacidade de enxergar que o carro, além do uso individual, pode ser útil para os indivíduos em sociedade, é necessário compreender que a integração da mobilidade depende de um serviço que promova acesso às pessoas, servindo às suas necessidades de ir e vir, o que parece ser um dos

mais significativos desafios para os gestores e para as políticas de transporte. Nesse sentido, os diferentes meios de transporte precisam ser concebidos como uma solução dirigida para a coletividade, em detrimento dos anseios individuais.

O pensamento individual é um dos maiores empecilhos para o desenvolvimento e a promoção de integração da mobilidade. Como o automóvel ainda se mantém como o principal ator nas vias públicas, identifica-se uma mentalidade baseada na perspectiva do indivíduo e não da coletividade, demonstrando um conflito claro entre os anseios individual e social, denunciando um dilema social. Uma alternativa para a mudança dessa percepção pode estar no viés dos pesquisadores e dos planejadores de transportes que lidam com mobilidade e devem prestar atenção na forma de integrar diferentes operadores de transporte e prestar os seus serviços como um único produto.

Por fim, espera-se que as pessoas optem cada vez mais pelo uso de diferentes modos de transporte, ao invés de utilizar apenas o carro individualmente, contribuindo para a diminuição da competição por espaço nos estacionamentos, de acidentes no trânsito, para a diluição dos congestionamentos, a diversificação da economia e prevenção de doenças desencadeadas pela poluição do ar.

Referências

Aarts, H., Verplanken, B., & Van Knippenberg, A. (1997). Habit and information use in travel mode choice. *Acta Psychologica*, 96, 1-14. doi: 10.1016/S0001-6918(97)00008-5

Aapaoja, A., Eckhardt, J., Nykänen, L., & Sochor, J. (2017). MaaS service combinations for different geographical areas. Presented at the 24th World congress on intelligent transportation systems, Montreal.

Abrahamse, W., Steg, L., Gifford, R., & Vleck, C. (2009). Factors influencing car use for commuting and the intention to reduce it: A question of self-interesting or morality? *Transportation Research Part F*, 12, 317-324. doi:10.1016/j.trf.2009.04.004

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211. doi: 10.1016/0749-5978(91)90020-T

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO – NTU: Programa Coletivo anuncia melhorias para o transporte público (08/05/2019). Consultado em: <https://www.ntu.org.br/novo/NoticiaCompleta.aspx?idArea=10&idNoticia=1118>

Bamberg, S., Rölle, D., & Weber, C. (2003). Does habitual car use lead to more resistance to change of travel mode? *Transportation*, 30, 97-108. doi:10.1023/A:1021282523910

Bargh, J. (1994). The four horsemen of automaticity: Awareness, intention, efficiency, and control in social cognition. In R. S. Wyer, & T. K. Srull (Eds.), *Handbook*

of social cognition (Vol. 1, pp. 1-40). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Calderón, F., & Miller, E. J. (2019). A literature review of mobility services: definitions, modelling state-of-the-art, and key considerations for a conceptual modelling framework. *Transport Reviews*, 1–21. doi:10.1080/01441647.2019.1704916

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE – CNT: Acidentes rodoviários e a infraestrutura (boletim técnico): Consultado em: <http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/Boletim%20unificado/Janeiro/BOLETINS%20T%C3%89CNICOS%20DA%20CNT%20-%20JANEIRO.pdf>

Eckhardt, J., Aapaoja, A., Nykänen, L., & Sochor, J. (2017). Mobility as a Service business and operator models. Presented at the 12th European congress on intelligent transportation systems, Strasbourg.

Eckhardt, J., Nykänen, L., Aapaoja, A., & Niemi, P. (2018). MaaS in rural areas - case Finland. *Research in Transportation Business & Management*. doi:10.1016/j.rtbm.2018.09.005

Eriksson, L., Garvill, J., & Nordlund, A. M. (2008). Interrupting habitual car use: The importance of car habit strength and moral motivation for personal car use reduction. *Transportation Research Part F*, 11, 20-23. doi:10.1016/j.trf.2007.05.004

Feitosa, O. Z. Modelo das motivações conscientes e não conscientes do uso do automóvel com base na Teoria do Comportamento Planejado (2017). Tese de doutorado. Universidade de Brasília.

Feitosa, O. Z, Mota, D. R., Gomez, J. P. E., Arruda, F. S., Brasil, A. C. M. (2014). Consciência verde e qualidade de vida urbana: percepção acerca da utilização intensificada do transporte individual Comportamento verde. XXVIII Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte. Consultado: <http://www.anpet.org.br/xxviiianpet/anais/documents/AC294.pdf>

Friedrichsmeier, T., Matthies, E., & Klöckner, C. A. (2013). Explaining stability in travel mode choice: An empirical comparison of two concepts of habit. *Transportation Research Part F*, 16, 1-13. doi.org/10.1016/j.trf.2012.08.008

Gärling, T; Gärling, A., & Loukopoulos, P. (2002). Forecasting psychological consequences of car use reduction: A challenge to an environmental psychology of transportation. *Applied Psychology: International Review*, 51(1), 90-106. doi.org/10.1111/1464-0597.00080

Gärling, T., & Axhausen, K. W. (2003). Introduction: Habitual travel choice. *Transportation*, 30, 1-11. doi:10.1023/A:1021230223001

Hietanen, S. (2014). 'Mobility as a Service' – the new transport model? *ITS & Transport Management Supplement*. Eurotransport.

- Ijitrapirom, P., Caiati, V., Feneri, A. M., Ebrahimigharehbaghi, S., González, M. J. A., & Narayan, J. (2017). Mobility as a service: A critical review of definitions, assessments of schemes, and key challenges. *Urban Planning*, 2(2), 13. doi: 0.17645/up.v2i2.931
- Kalanick, T. (2016). "Growing and Growing Up," Uber Newsroom. April 2016. In CAR-Center for Automotive Research. *The Impact of New Mobility Services on the Automotive Industry*. <https://pt.scribd.com/document/329102881/Car-Impact-of-New-Mobility--Services-on-the-Automotive-Industry>
- Kamargianni, M., Li, W., Matyas, M., & Schäfer, A. (2016). A Critical Review of New Mobility Services for Urban Transport. *Transportation Research Procedia*, 14, 3294–3303. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.277>
- Kamargianni, M., & Matyas, M. (2017). The Business Ecosystem of Mobility as a Service. 96th Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, 8–12.
- Kamargianni, M., Matyas, M., Li, W., Muscat, J., & Yfantis, L. (2018). The MaaS Dictionary. MaaS Lab, Energy Institute, University College London. <https://www.intelligenttransport.com/digital/et-issue-2-2014/index.html>
- Karlsson, I.C.M., Sochor, J., Strömberg, H., 2016. Developing the 'Service' in Mobility as a Service: experiences from a field trial of an innovative travel brokerage. *Transp. Res. Proc.* 14, 3265–3273. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.273.
- Klein, N. J., & Smart, M.J. (2017). Millennials and car ownership: Less money, fewer cars. *Transport Policy*, 53, 20–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.08.010>.
- Klößner, A. C., & Matthies, E. (2004). How habits interfere with norm-directed behaviour: A normative decision-making model for travel mode choice. *Journal of environmental psychology*, 24, 319–327. doi:10.1016/j.jenvp.2004.08.004
- Légal, J. B., Meyer, T., Csillik, A., & Nicolas, P. A. (2016). Goal priming, public transportation habit and travel mode selection: The moderating role of trait mindfulness. *Transportation Research, Part F*, 38, 47–54. doi:10.1016/j.trf.2016.01.003
- Minnen, J., Glorieux, I., Pieter, T., & Tienoven, V. (2015). Transportation habits: Evidence from time diary data. *Transportation Research, Part A*, 76, 25–37. doi:10.1016/j.tra.2014.12.013
- Mulalic, I., & Rouwendal, J. (2020). Does improving public transport decrease car ownership? Evidence from a residential sorting model for the Copenhagen metropolitan area. *Regional Science and Urban Economics*, 83. doi:10.1016/j.regsciurbeco.2020.103543
- Neto, I.L., Feitosa, Z.O., Cristo, F.H.V., Cantal, C.B., & Günther, H. (2012). Uso de automóveis e qualidade de vida urbana: Desafios para a psicologia. *Estudos de Psicologia*, 18(4), 619–621.

- Neto, I.L. Determinantes psicossociais do uso do transporte público: Um estudo comparativo entre o Distrito Federal (Brasil) e Região de Hampton Roads – VA (Estados Unidos). Tese de Doutorado (2014). Universidade de Brasília.
- Nordfjaerd, T., Simsekoglu, Ö., & Rundmo, T. (2014). The role of deliberate planning, car habit and resistance to change in public transportation mode use. *Transport Research, Part F*, 27, pp 90-98. doi:10.1016/j.trf.2014.09.010
- Orbell, S., Hodgkins, S., & Sheeran, P. (1997). Implementation intentions and the theory of planned behavior. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 23, 953-962. doi: 10.1177/0146167297239004
- Sarasini, S., Sochor, J., & Arby, H. (2017). What characterizes a sustainable MaaS business model? 1st International Conference on Mobility as a Service (ICoMaaS), Tampere, Finland.
- Setiawan, R; Santosa, W., & Sjafruddin, A. De. (2015). Effect of habit and car access on student behavior using cars for traveling to campus. *Procedia Engenharia*, 125, p. 571-578. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.063
- Simsekoglu, O., Nordfjaern, T., & Rundmo, T. (2015). Predictors of use strength in na urban Norwegian public. *Transportation*. Published online: on 08 december, 2015 Retirado de: <https://www.researchgate.net/publication/284444432>. Acesso em 10/12/2018.
- Smith, G., Sochor, J., & Karlsson, M. (2018). Mobility as a Service: Development scenarios and implications for public transport. *Research in Transportation Economics*. doi:10.1016/j.retrec.2018.04.001
- Steg, L., & Vleck, C. (2009). Encouraging pro-environmental behaviour: An integrative review and research agenda. *Journal of Environmental Psychology*, 29, 309-317. doi:10.1016/j.jenvp.2008.10.004
- Tinnilä, M. T. (2016). Towards servitization of mobility: Mobility as a Service. *International Journal of Research in Business and Technology*, 8(2), 958–963. doi:10.17722/ijrbt.v8i2.444
- Verplanken, B., Aarts, H., Van Knippenberg, A., & Moonen, A. (1998). Habit versus planned behavior: A field experiment. *British Journal of Social Psychology*, 37, 111-128. doi: 10.1111/j.2044-8309.1998.tb01160.x
- Verplanken, B., Aarts, H., Van Knippenberg, A., & Van Knippenberg, C. (1994). Attitude versus general habit: Antecedents of travel mode choice. *Journal of Applied Social Psychology*, 24(4), 285-300. doi:10.1111/j.1559-1816.1994.tb00583.x
- Verplanken, B., Aarts, H., & Van Knippenberg (1997). Habit, information acquisition, and the process of making travel mode choices. *European Journal of Social Psychology*, 27, 539-560. doi:10.1002/(SICI)1099-0992(199709/10)27:5<539::AID-EJSP831>3.0.CO;2-A

Verplanken, B., & Orbell, S. (2003). Reflections on past behavior: A self-report index of habit strength. *Journal of Applied Social Psychology*, 33(6), 1313-1330. doi:10.1111/j.1559-1816.2003.tb01951.x

Wood, W., Tan, L., & Witt, Mg. (2005). Changing circumstances, disrupting habits. *Journal of Personality and Social Psychology*, 88, 918-933. doi:10.1037/0022-3514.88.6.918

Wood, W., & Hüniger, D. (2016). Psychology of habits. *Annual Review of Psychology* 67(1):289-314. doi:10.1146/annurev-psych-122414-033417

Yalachkov, Y., Naumer, J. M., & Plyshcheva, A. (2014). The compulsive habit of cars. *Science & Society*. Vol. 18, n5, 227-228. doi:10.1016/j.tics.2014.01.008

CAPÍTULO 7

Eventos pluviais extremos no Distrito Federal: desafios para adaptação às mudanças climáticas em busca de uma cidade sustentável



Ercilia Torres Steinke

Possui graduação em Geografia pela Universidade de Brasília - UnB (1994), mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (1997) e doutorado em Ecologia pela Universidade de Brasília (2004). Professora Titular e pesquisadora do Departamento de Geografia da UnB. Fundadora do Laboratório de Climatologia Geográfica - LCGea da Universidade de Brasília. Coordenadora do Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Geografia em Rede Nacional - PROFGEO desde 2021. Tem experiência na área de conhecimento de Geografia, com ênfase em Climatologia Geográfica, atuando principalmente no ensino de Climatologia.



Rafael Rodrigues da Franca

Possui graduação em Geografia (Bacharelado) pela Universidade Federal de Minas Gerais (2006), Mestrado em Geografia (Análise Ambiental), com ênfase em Climatologia, pela Universidade Federal de Minas Gerais (2009) e Doutorado em Geografia, com ênfase em Climatologia, pela Universidade Federal do Paraná (2015). É professor do Departamento de Geografia da Universidade de Brasília e ministra disciplinas nesse curso e nos cursos de Engenharia Florestal e Ciências Ambientais. Tem experiência em Geografia Física, atuando principalmente em Climatologia, dinâmica e variabilidade climática, eventos climáticos extremos, desastres naturais, mudanças e emergência climática e clima urbano. É membro do Laboratório de Climatologia Geográfica da UnB.

Eventos pluviais extremos no Distrito Federal: desafios para adaptação às mudanças climáticas em busca de uma cidade sustentável

Ercilia Torres Steinke
Rafael Rodrigues da Franca

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas não são um fenômeno novo. Elas sempre ocorreram ao longo das eras geológicas, com alternância de climas mais frios e mais quentes. Contudo, na era em que vivemos atualmente, o Antropoceno – termo usado para designar a era geológica que se distingue pelo papel central que a humanidade desempenha na realização de mudanças significativas no planeta Terra – há, praticamente, um consenso de que as mudanças climáticas estão sendo provocadas pela ação humana, e não mais por fatores geológicos, cósmicos etc., sendo que a maior materialização dessas atividades pode ser encontrada nas cidades.

De acordo com Relatório Mundial das Cidades 2022 (UN-HABITAT, 2022), nos dias de hoje, mais da metade da população mundial vive em cidades e espera-se que esse número cresça para, aproximadamente, 70% até 2050. Sendo assim, as cidades ocupam papel de destaque em relação às mudanças climáticas, já que tendem a ser os locais de maior emissão de gases de efeito estufa (GEE), causado pelas atividades antrópicas, e onde muitos dos impactos serão sentidos.

A relação entre as mudanças climáticas e as cidades pode ser compreendida por meio da verificação de como estas vêm sofrendo com os impactos advindos daquelas, como por exemplo: redução da mobilidade urbana, destruição da infraestrutura construída, perda de vidas etc. Dessa forma, o enfrentamento dessas questões, passa pela adaptação dos setores da sociedade, considerando, na sua maioria, as mudanças relacionadas ao aperfeiçoamento da infraestrutura e à recuperação de áreas degradadas, como a criação de infraestrutura verde e adaptação baseada na natureza.

Em todas as partes do mundo, a literatura sobre o papel das cidades frente às mudanças climáticas tem crescido significativamente. De acordo com Nobre e Young (2011), em todos os países onde há elevadas taxas de população urbana como o Brasil, as cidades são importantes agentes na constatação dos impactos das mudanças climáticas, principalmente porque podem concentrar áreas mais sujeitas a eventos extremos, como aumento de episódios de chuva de

grande intensidade e de temperaturas. Esses impactos tendem a agravar os riscos identificados nas cidades brasileiras, além de evidenciar a incapacidade dos governos locais para lidarem com as questões de infraestrutura e/ou a falta dela.

Em relação ao posicionamento do Brasil frente à essa questão, segundo Basso e Viola (2017), ainda que alguns esforços para integrar a questão climática em suas políticas e diretrizes tenham sido empreendidos, o Brasil tem desempenhado um papel relativamente conservador na mitigação e adaptação aos eventos extremos relacionados às mudanças climáticas.

Poucas são as cidades brasileiras que incorporaram mudanças climáticas como diretrizes para as políticas públicas em suas agendas. Um dos motivos apontados para isso está relacionado a um fato ainda comum em municípios brasileiros - a falta de ou as inadequações relacionadas ao incipiente registro de dados meteorológicos em áreas urbanas, fundamentais para tomada de decisão, monitoramento, proteção e ações de prevenção.

Os eventos extremos sempre existiram, porém, o que a comunidade científica demonstra é que a maior regularidade da ocorrência desses eventos possui relação com a ação antrópica. Até pouco tempo, o Brasil não possuía temporadas de eventos extremos, potenciais geradores de desastres, porém, de acordo com Giulio et al. (2019), eles estão se tornando parte da realidade no país. Por isso, é fundamental investir em sistemas de monitoramento integrados com a Defesa Civil e com sistemas de comunicação, a fim de produzir informações que subsidiem esses sistemas, para que seja possível atuar de forma efetiva na ocorrência de um desastre.

Esse tipo de investimento está associado ao conceito de cidade inteligente (smart city), que tem ganhado cada vez mais espaço, sendo uma das promessas para ajudar a solucionar os diversos problemas existentes nos centros urbanos, inclusive aqueles relacionados aos impactos das mudanças climáticas, como o enfrentamento aos eventos extremos de chuva. Segundo Bento et al. (2018), cidades inteligentes são cidades inovadoras que utilizam as tecnologias de informação e comunicação (TIC) para melhorar a qualidade de vida dos habitantes e incrementar a operação dos serviços urbanos, garantindo o atendimento das necessidades atuais e futuras relacionadas aos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais. O questionamento que se levanta, então, é: como as cidades, principalmente aquelas mais vulneráveis, podem se tornar mais inteligentes para o enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas, como os eventos extremos de chuva?

Nesse contexto, o presente texto apresenta dados de ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial, em Brasília, Distrito Federal (DF), sua frequência, tempo de retorno e tendências, no período compreendido entre 1963 e 2019, associando esses eventos à uma análise geográfica dos pontos de alagamentos,

um dos principais impactos na área urbana do DF, derivados dos eventos extremos de chuva, e uma breve discussão de como o conceito de cidade inteligente pode colaborar para a minimização e/ou o combate desse problema.

Eventos extremos no Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC)

Antes de apresentar a análise citada no parágrafo anterior, é importante indicar como a questão dos eventos extremos de chuva são tratados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), um órgão não governamental, fundado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), estabelecido com o objetivo de avaliar as pesquisas sobre mudanças climáticas, interpretá-las e reunir, em relatórios de fácil compreensão, seus resultados e informações mais importantes. Esses são os Relatórios de Avaliação (RA), pelos quais o IPCC é mais conhecido, amplamente reconhecidos, a princípio, como as fontes mais confiáveis de informações sobre a mudança do clima.

Até 2022, o IPCC publicou seis Relatórios de Avaliação (RA) (Assessment Reports - AR) e um Relatório Especial, o Special Assessment 1.5oC. Nos AR é possível encontrar o estado do conhecimento sobre a mudança do clima, onde há consenso na comunidade científica e em que áreas mais pesquisas são necessárias. Já o Relatórios Especial tratou de questões específicas acordadas entre os países membros. Normalmente, após a publicação dos relatórios acontecem as grandes reuniões, em que os governantes do mundo tentam encontrar soluções e definir metas para enfrentar as mudanças projetadas pelos documentos.

No mais recente relatório (AR6), publicado em 2021, afirma-se que tanto seres humanos como a natureza estão sendo pressionados além de sua capacidade de adaptação. O relatório mostra que eventos climáticos extremos e ligados às mudanças climáticas, como enchentes/alagamentos e ondas de calor, estão atingindo seres humanos, e outras espécies, de forma muito mais intensa do que as avaliações anteriores indicavam.

As projeções dos modelos climáticos do AR6 (2021) informam que a temperatura do planeta se elevará em 1.5°C em todos os cenários. Considerando as melhores projeções, ou seja, reduzindo consideravelmente a emissão de GEE em relação a emissão atual, em 2030 alcançaremos 1.5°C de temperatura, o que poderá provocar repercussões bastante negativas, sobretudo para as populações mais vulneráveis.

Pesquisas desenvolvidas em diversas partes do mundo têm alertado, ainda, para o aumento dos eventos extremos devido às mudanças climáticas. Episódios de chuvas intensas, secas prolongadas, ondas de calor e de frio são alguns dos eventos extremos que podem assumir importância significativa no cotidiano das sociedades, quer seja por sua frequência e intensidade de ocorrência, quer seja

pela vulnerabilidade socioambiental (SANTOS et al., 2017). Os eventos extremos, atrelados às vulnerabilidades sociais, resultam em elevados riscos ambientais e sociais, ameaçando, também, as atividades econômicas, além de impor limite para o uso e ocupação de determinadas áreas, inclusive das cidades.

De acordo com Marengo et al. (2021), os eventos extremos são comumente relacionados a valores anormais de um estado climático médio que pode ser observado em várias escalas de tempo, tanto de curto prazo, variando de horas e dias, por exemplo, quanto de médio e longo prazo (milênios). Tanto os eventos extremos de curto prazo, que estão relacionados com o tempo atmosférico, como os de médio prazo, associados ao clima, configuram-se como os mais importantes para as atividades humanas, uma vez que são potenciais causadores de impactos significativos. Vale destacar que, segundo Stephenson (2008), definir um evento climático extremo depende de diferentes índices climáticos capazes de avaliar sua frequência, duração, tempo de retorno e intensidade, distinguindo-se pelos danos que exercem sobre o ambiente natural e a economia.

O IPCC considera que um evento climático extremo ocorre quando é observado um valor muito acima ou muito abaixo do valor normal no comportamento de alguma variável climática. No caso da precipitação pluvial, o IPCC acrescenta que eventos extremos de chuva têm se tornado mais frequentes e intensos, sobretudo na América do Norte, América Central e Europa, fato atribuído ao incremento da temperatura global, que entre 1880 e 2012 aumentou cerca de 0,85°C (IPCC, 2012; 2013). Sobre isso, encontra-se a seguinte afirmação no último Relatório Especial:

A mudança do clima causada pelo homem já está afetando muitos extremos de tempo e clima em todas as regiões do planeta. As evidências das mudanças observadas em eventos extremos como ondas de calor, precipitação intensa, secas, e ciclones tropicais, e, principalmente, sua atribuição à influência humana, ficaram mais fortes desde o AR5. [...] É praticamente certo que extremos de calor (incluindo as ondas de calor) se tornaram mais frequentes e mais intensos na maioria das regiões terrestres desde a década de 50, enquanto os extremos de frio (incluindo as ondas de frio) se tornaram menos frequentes e menos rigorosas, com confiança alta que mudança do clima induzida pela atividade humana é a principal causadora dessas alterações. Seria extremamente improvável que alguns dos extremos de calor observados recentemente na última década acontecessem sem a influência humana sobre o sistema climático. A frequência das ondas de calor marinhas praticamente dobrou desde a década de 80 (confiança alta), e muito provavelmente a influência humana contribuiu para a maioria delas desde 2006, pelo menos (IPCC, 2021:11).

A identificação de eventos extremos de chuva pode ser realizada por meio da aplicação de diversos índices, como o Índice de Anomalia de Precipitação (IAP), o Índice de Porcentagem Normal (IPN), o Método dos Decis (MD), o Índice de Precipitação Normalizada (IPN) e o Percentil 99. Entre eles, Franca (2015) afirma que a utilização do método do Percentil 99, recomendado pelo Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDI), é interessante pois permite identificar o limiar de 1% das precipitações mais significativas de uma série histórica. Esse método tem sido usado por diversos pesquisadores, como

Goudard e Mendonça (2017; 2020), Paz e Sanches (2017); Paz et al. (2019), Machado et al. (2019); Sanches et al. (2019). Embora a aplicação desse limiar se apresente satisfatória, outros pesquisadores como Monteiro (2016), Monteiro e Zanella (2017; 2019), Oliveira Sena et al. (2019) e Marengo et al. (2020) utilizam o limiar de 50 mm/24 horas como parâmetro para identificação de eventos pluviais extremos.

Independente do limiar adotado, sabe-se que os eventos extremos de chuva fazem parte do ritmo climático de um lugar. Sendo assim, o conhecimento da variabilidade dos eventos de chuva de grande intensidade é de crucial importância para o planejamento do uso e ocupação da terra, bem como para a prevenção de e adaptação a impactos associados a esses episódios.

Nas últimas décadas, tais episódios têm recebido destaque pela imprensa devido aos diversos impactos socioambientais causados em áreas urbanas, principalmente os alagamentos. Esses impactos decorrem de vulnerabilidades associadas a contingências sociais, políticas, econômicas, culturais, tecnológicas, entre outras, que potencializam os danos associados aos eventos pluviais extremos (Mendonça, 2011). A seguir, são apresentados e discutidos dados referentes a eventos de chuva extrema, no DF, e os alagamentos deles derivados.

Eventos extremos de chuva e alagamentos no DF

Assim como em várias cidades do Brasil, no DF, chuvas concentradas e sistemas de drenagem urbana ineficazes impactam a população com problemas originados pelo excesso de escoamento de água nas áreas urbanas. Há alguns anos, já são contabilizados inúmeros casos de problemas urbanos originados da relação entre eventos climáticos e infraestrutura urbana, entre outros aspectos. Muitos desses problemas podem até ser considerados como desastres, como os alagamentos, que constituem consequência da combinação de riscos naturais e atividades antrópicas.

Alguns fatores podem ser listados para justificar o aumento da vulnerabilidade aos alagamentos no DF, entre eles o crescimento da população, a maior concentração da população em áreas urbanas, a retirada da cobertura vegetal para o assentamento da infraestrutura das cidades, o aumento da impermeabilização do solo, o incremento do escoamento superficial, o desaparecimento de zonas úmidas e de recarga do lençol freático, e a maior ocupação em áreas de risco. Soma-se a esses fatores uma prática que, segundo Fernandes (2021), é comum no DF desde antes da implantação da Capital Federal, Brasília: a ocupação irregular e a grilagem da terra.

Os problemas produzidos pelos eventos de chuva extrema no DF não são de amplo conhecimento fora da região, por esse motivo e com o objetivo de desmistificar a falsa ideia de que no DF não ocorrem desastres urbanos decorrentes de eventos pluviais extremos, Steinke e Barros (2015) identificaram diversos tipos

de ocorrências, desde alagamentos, deslizamentos, problemas com a saúde e até óbitos. Um resultado interessante da pesquisa diz respeito ao fato de que, em muitos casos, a falta de planejamento contribuiu muito mais para a ocorrência dos desastres do que propriamente o evento pluvial em si.

Braga (2016) identificou e analisou os fatores desencadeadores de alagamentos em Santa Maria, DF, entre 2010 e 2014. A pesquisa demonstrou que os sistemas de drenagem da cidade apresentavam pouca ou nenhuma capacidade de absorver os elevados volumes de chuva em caso de precipitação intensa. Além disso, o autor concluiu que o elevado nível de impermeabilização do solo e da expansão urbana acelerada contribuíram para o problema, fatores também identificados por Steinke e Barros (2015).

Outra pesquisa que identificou eventos extremos de chuva no DF foi a realizada por Steinke et al. (2017), que analisou a variabilidade das chuvas do mês de janeiro, no período compreendido entre 1981-2010. Esse estudo destacou a ocorrência de eventos extremos de chuva que mereceriam atenção em novas investigações por serem potencialmente deflagradores de alagamentos.

Essas e outras pesquisas mostram que, no DF, está havendo um aumento da vulnerabilidade aos desastres associados a alagamentos. Todavia, a população convive com riscos dessa natureza há muitos anos, devido a alguns fatores principais como o aumento do número de cidades, o aumento da impermeabilização do solo e do escoamento superficial, e à incompatibilidade da rede de drenagem, que é, de acordo com Mesquita et al. (2017), a mesma desde a construção de Brasília, há mais de 60 anos.

A transformação pela qual o território do DF passou, e ainda vem passando, desde antes da inauguração da capital Brasília, é apontada como a causa dos muitos dos problemas aqui mencionados. Desde a inauguração da capital, em 1960, e durante a ocupação do território do DF, conflitos foram gerados motivando a expansão urbana desordenada. Essa expansão, juntamente com o acelerado crescimento populacional, teve como consequência o estabelecimento de áreas urbanas inconsolidadas, onde ocorre grande parte dos problemas urbanos decorrentes de chuvas intensas. Muitos transtornos podem ser citados, incluindo os alagamentos associados à deficitária e/ou, em alguns casos, ausente drenagem urbana (PINTO et al., 2017 e SILVA et al., 2017).

As chuvas intensas ocorrem durante o período chuvoso, que vai de outubro até o início de abril. O total pluviométrico anual é de 1478,8 mm, segundo a Normal Climatológica 1991-2020 (INMET, 2020). Contudo, quase metade desse volume ocorre no trimestre novembro-dezembro-janeiro (NDJ), quando normalmente são contabilizados 700,2 mm (47,3% do total). No trimestre junho-julho-agosto chove cerca de 21,1 mm (1,4 % do total anual). A Figura 1 mostra a distribuição média mensal de precipitação pluvial para a estação convencional de Brasília, que se localiza na parte central do DF.

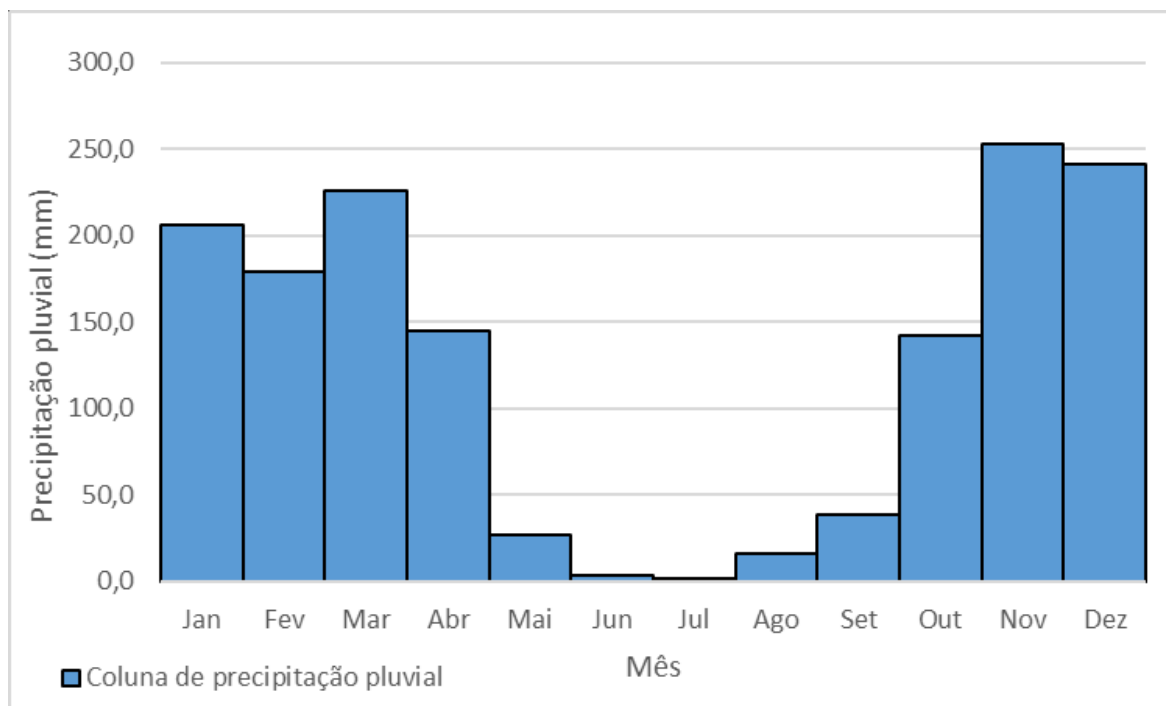


Figura 01: Distribuição Mensal da Precipitação Pluvial em Brasília-DF – Normal Climatológica (1991-2020). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 1992.

A forte sazonalidade pluvial observada (verão chuvoso e inverno seco) é atribuída à atuação do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS). O SMAS se organiza a partir de setembro (primavera), com o aumento da convecção sobre o noroeste da Amazônia e seu deslocamento em direção ao Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (GAN et al., 2009). Esse sistema é sustentado pela umidade proveniente do Oceano Atlântico e transportada pelos ventos alísios até a Amazônia, onde é reciclada. O transporte de umidade do oceano para o continente até a porção oriental da Cordilheira dos Andes e seu posterior redirecionamento para a região central da América do Sul constitui o chamado Jato de Baixos Níveis (JBN), sistema que se organiza próximo ao nível de 850 hPa (1.500 metros de altitude).

Outros sistemas atmosféricos, em superfície e em altos níveis da troposfera, participam e se articulam na configuração do SMAS, tais como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Alta da Bolívia (AB) e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN). Portanto, a sazonalidade pluvial do DF é resultado dessa dinâmica atmosférica sobre a região (FRANCA, 2015).

É importante destacar que, em uma avaliação espacial, observa-se que na região oeste do DF há a maior ocorrência de chuvas (STEINKE e STEINKE, 2001, BARROS, 2003 e NEVES, 2019); nessa região se localiza a maior parte da área urbana do DF, como pode ser observado na Figura 2, ocupando, aproximadamente, 88% do território do DF (MELO e STEINKE, 2013).

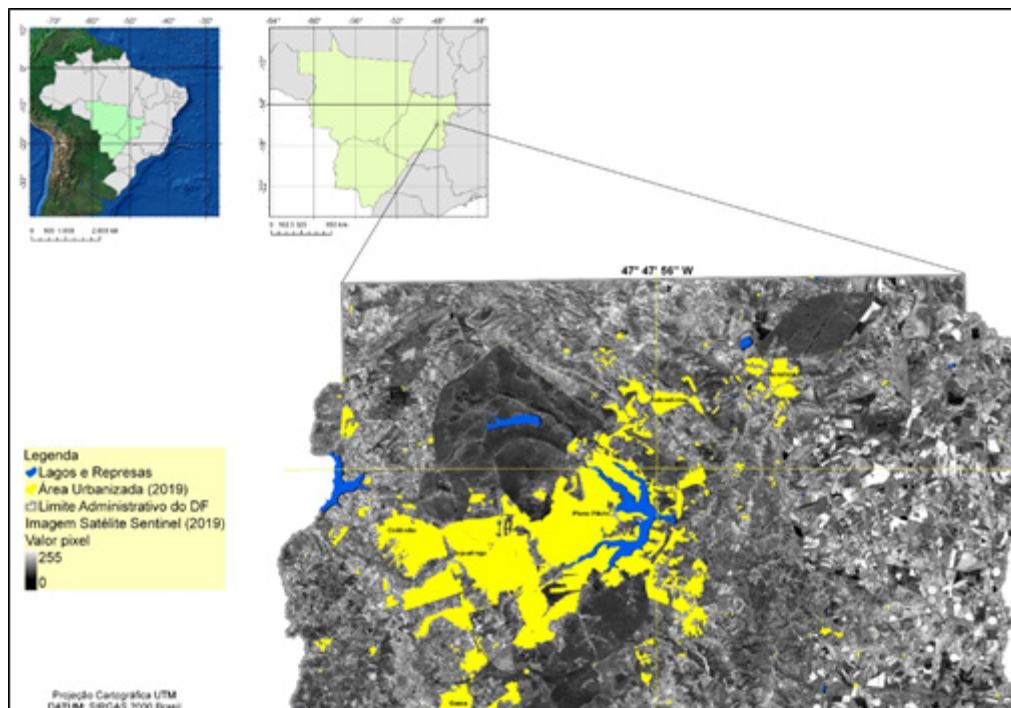


Figura 2: Mapa de localização do Distrito Federal e sua área urbana. Fonte: Melo e Steinke, 2013.

Identificação dos eventos extremos de chuva

Eventos extremos de chuva, em Brasília, foram identificados por Franca et al. (2022), tendo como referência a estação Brasília, localizada nas seguintes coordenadas: Latitude 15.78978° Sul, Longitude 47.925849° Oeste e Altitude 1161.42 metros (Figura 03). Para tanto, foram utilizados dados diários de precipitação pluvial, do período 1963-2019, extraídos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet.

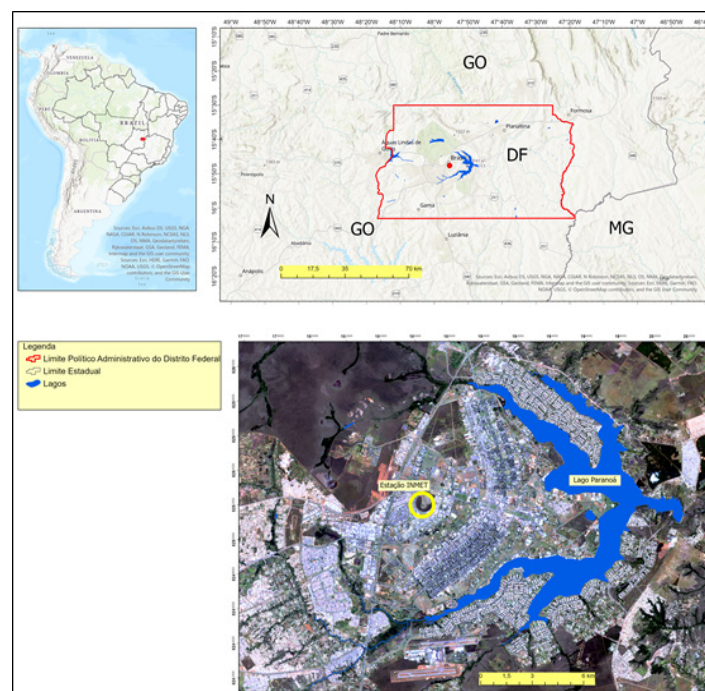


Figura 03: Localização da Estação Meteorológica Brasília. Fonte: Geoportail GDF, 2019.

Todos os episódios de chuva diária igual ou superior a 1 mm foram considerados e classificados conforme as seguintes classes de precipitação pluvial recomendadas pelo Inmet: 1,0 mm-2,4 mm/dia, 2,5 mm-4,9 mm/dia, 5,0 mm-9,9 mm/dia, 10,0 mm-14,9 mm/dia, 15,0 mm-24,9 mm/dia, 25,0 mm-49,9 mm/dia, 50,0 mm-100 mm/dia e superior a 100 mm/dia. Para cada uma dessas classes foi calculada a frequência absoluta, frequência relativa e tempo de retorno.

A frequência absoluta de um valor representa o número de vezes que uma determinada variável assume esse valor. Ao conjunto das frequências dos diferentes valores da variável dá-se o nome de distribuição da frequência (ou apenas distribuição). Já a frequência relativa (Fr) de determinado evento é o resultado obtido da razão entre a frequência absoluta (n) e a quantidade de elementos da amostra, geralmente apresentada na forma de porcentagem. Nesse caso, é igual ao número de vezes que ocorreu o evento pluviométrico extremo em relação ao total de dias da série ($\sum n$) (Equação 1). Portanto, a frequência relativa, por meio dos dados percentuais, possibilita melhor comparação entre as diferentes classes.

$$Fr = \frac{n}{\sum n} \quad (1)$$

O tempo de retorno ou período de retorno (Tr) indica que um evento possui uma probabilidade de ocorrência em um determinado período de tempo (Equação 2). Em outras palavras, espera-se que o valor de um determinado evento seja igualado ou superado, em média, uma vez, a cada determinado período. O tempo de retorno de determinado evento é calculado a partir do inverso da probabilidade de sua frequência relativa.

$$Tr = \frac{1}{Fr} \quad (2)$$

A definição do limiar diário para a identificação de eventos pluviais extremos foi obtida a partir de recomendações do Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDI), que indica o Percentil 99 como parâmetro. Após a definição do valor extremo para a série, os episódios extremos foram identificados e sua frequência, frequência relativa e tempo de retorno foram calculadas.

A avaliação de tendências, na ocorrência de eventos extremos, para o período estudado, foi realizada a partir da aplicação do teste Mann-Kendall, no programa estatístico XLSTAT®. Trata-se de um método não paramétrico proposto por Mann (1945) e posteriormente adaptado por Kendall (1975), que tem por base rejeitar ou aceitar uma hipótese nula (H_0), podendo, assim, negar ou não a existência de um cenário tendencial na série

histórica analisada, mediante a aceitação de um nível de significância (95%).

Sejam as observações X_1, X_2, \dots, X_n de uma série temporal, pode-se aplicar o teste de Mann-Kendall para tendência somente se a série for serialmente independente. Portanto, verifica-se se as observações da série são independentes e identicamente distribuídas, isto é, testa-se as hipóteses:

H_0 : As observações da série são independentes e identicamente distribuídas (não há tendência).

H_1 : As observações da série possuem tendência monotônica no tempo (há tendência).

Sendo assim, sob H_0 a estatística do teste é dada por:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (3)$$

Onde:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, \text{ se } x > 0 \\ \quad \square \\ 0, \text{ se } x = 0 \\ \quad \square \\ -1, \text{ se } x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

O teste Mann-Kendall (MK) é largamente utilizado e recomendado pela OMM para detectar tendências significativas em séries hidrológicas e meteorológicas. O teste compara a importância relativa dos dados amostrais, portanto, uma de suas vantagens é o fato de dispensar a exigência da distribuição normalizada. Outra vantagem é a sua baixa sensibilidade a quebras abruptas na série (MODARRES e DA SILVA, 2007; TABARI et al, 2010, 2011).

Durante os 57 anos estudados, Franca et al. (2022) identificaram 6.159 episódios de chuva em Brasília (igual ou superior a 1,0 mm/dia) (Figura 04). A classe de precipitação mais frequente foi a de 5,0 mm-9,9 mm/dia, seguida pela de 1,0 mm-2,4 mm/dia e depois pela de 2,5 mm-4,9 mm/dia. Essas três classes são consideradas como chuvisco ou chuva fraca pelo Inmet, ou seja, cerca de 55,5 % do total dos episódios de precipitação pluvial ocorridos em Brasília, nesse período, foi considerado fraco. Já os episódios de chuva forte (entre 25 e 49,9 mm/dia) constituem 12,8 % do total dos episódios de precipitação. Episódios de chuva extremamente forte (superior a 50 mm/dia) representam 224 ocorrências na série,

ou cerca de 3,6 % do total dos episódios de precipitação. Entre esses, 7 apresentaram chuva superior a 100 mm/dia (0,1 % do total).

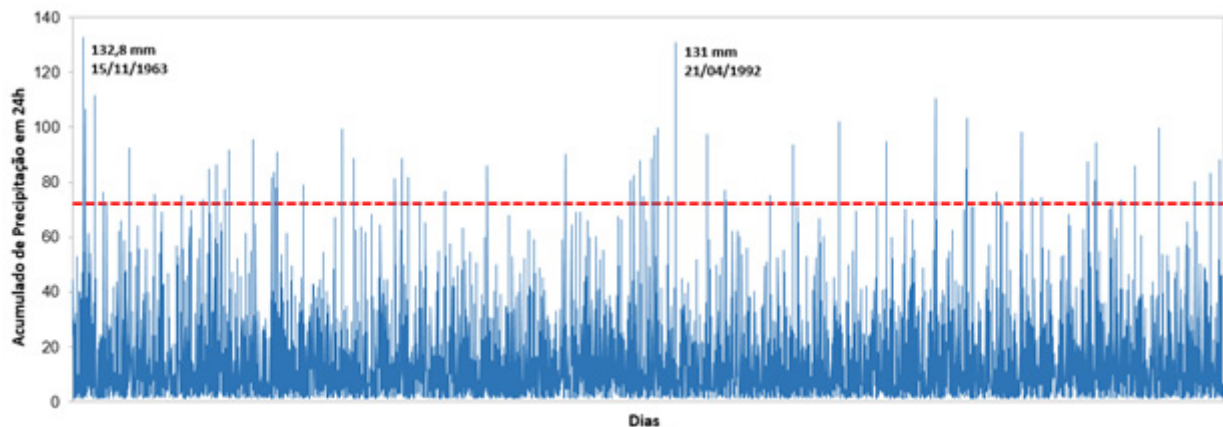


Figura 04: Eventos diários de precipitação pluvial em Brasília-DF (1963-2019). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os eventos das três primeiras classes de precipitação mais frequentes apresentam tempo de retorno de, respectivamente, 16,5, 18,3 e 20,1 dias cada. Já o tempo de retorno da classe de chuvas fortes é de 26,2 dias. Isso significa que, ao longo do ano, sobretudo na estação chuvosa, esses eventos ocorrem com grande frequência. Os 7 episódios de chuva extremamente forte apresentaram tempo de retorno de quase 1 década (8,11 anos) (Tabela 01).

Classes	Frequência Absoluta (n)	Frequência Relativa* (%)	Tempo de Retorno em dias	Tempo de Retorno em anos
1,0-2,4	1132	0,0545	18,34	0,05
2,5-4,9	1029	0,0496	20,17	0,06
5,0-9,9	1258	0,0606	16,50	0,05
10,0-14,9	812	0,0391	25,56	0,07
15,0-24,9	913	0,0440	22,73	0,06
25,0-49,9	791	0,0381	26,24	0,07
50,0-99,9	217	0,0105	95,65	0,26
>100	7	0,0003	2965,14	8,11
Total	6159	/	/	/
>72,3	62	0,0030	334,77	0,92

*Em relação ao total de dias da série.

TABELA 01: Distribuição dos Episódios de Chuva em Brasília, por Classe, Frequência e Tempo de Retorno. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A análise do Percentil 99 da série histórica resultou no valor de 72,3 mm/dia, a partir do qual foram identificados os eventos pluviais extremos. Ao longo dos 57 anos, ocorreram 62 episódios dessa natureza, com tempo de retorno de 334,7 dias ou 0,94 ano. Portanto, pode-se afirmar que eventos de chuva extrema ocorrem aproximadamente uma vez ao ano em Brasília. A Tabela 02 relaciona todos esses episódios, em ordem decrescente, por volume de precipitação.

Data	Volume	Data	Volume	Data	Volume	Data	Volume
15/11/1963	132,8	20/01/1998	93,6	18/11/1972	83,8	27/12/1966	75,5
21/04/1992	131	12/11/1965	92,4	09/12/2018	83,3	04/01/1997	75,2
31/03/1964	111,8	03/11/1970	91,7	25/10/1990	82,5	19/03/1968	75,1
28/02/2005	110,7	22/12/1972	91	18/10/1972	81,8	30/01/1991	75
22/12/1963	106,8	03/04/1987	90	20/03/1979	81,6	11/12/1972	74,8
27/10/2006	103,1	16/01/1979	88,7	29/11/1978	81,4	06/02/1992	74,8
29/10/2000	102,1	07/04/1991	88,6	13/07/1990	80,7	27/04/2009	74,5
16/11/1991	99,8	18/11/1976	88,5	10/01/2013	80,6	02/04/2010	74,4
20/01/2016	99,6	13/04/2019	88,3	08/02/2018	80,2	02/12/2009	74,1
26/02/1976	99,5	02/01/1991	87,8	26/02/1974	79	10/03/2014	73,7
13/04/2009	98,1	17/10/2012	87,6	16/12/1972	78	03/05/1969	73,6
27/11/1993	97,3	21/01/1970	86,5	03/09/1970	77,4	25/11/1994	73,4
02/10/1991	97	11/02/1983	85,8	23/11/1994	77	09/01/1980	73
19/11/1971	95,7	17/12/2014	85,8	20/03/1981	76,9	06/12/2013	72,6
30/12/2002	94,8	15/11/1969	85	15/11/1964	76,5	/	/
16/01/2013	94,4	23/10/2006	84,8	21/02/2008	76,5	/	/

TABELA 02: Eventos Pluviais Extremos em Brasília, no período 1963-2019 (ordem decrescente). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

Os anos de 1963 e 1992 chamam atenção por eventos com grande volume da chuva, 132,8 e 131,0 mm, respectivamente. O ano de 1963 foi considerado um ano anômalo (MONTEIRO, 1979), marcado por uma longa estiagem no país. Em Brasília, por exemplo, de acordo com o Inmet, foram registrados 163 dias sem chuva, entre 5 de maio e 16 de outubro. Porém, mesmo sendo considerado um ano seco, em novembro registrou-se um episódio de grande volume de chuva. Já o ano de 1992, no qual se contabilizou 131 mm no mês de abril, foi classificado como um ano chuvoso (SILVA et al., 2020), com um total pluviométrico de 1896,6 mm anuais, bem acima da normal climatológica anual, que é de 1540,6 mm.

A Figura 05 representa graficamente a distribuição mensal dos episódios destacados na Tabela 02. Como era de se esperar, na área estudada, a maior frequência desses eventos se dá ao longo dos meses da estação chuvosa (entre outubro e abril). O mês de maior frequência é novembro (13 episódios), seguido por dezembro e janeiro (10 em cada). Portanto, esse trimestre merece grande atenção por parte da administração da cidade e por toda a população que vive no DF, já que apresenta maior risco para a ocorrência de impactos e desastres associados a eventos extremos de chuva, o que corrobora as informações da pesquisa de Steinke e Barros (2015).

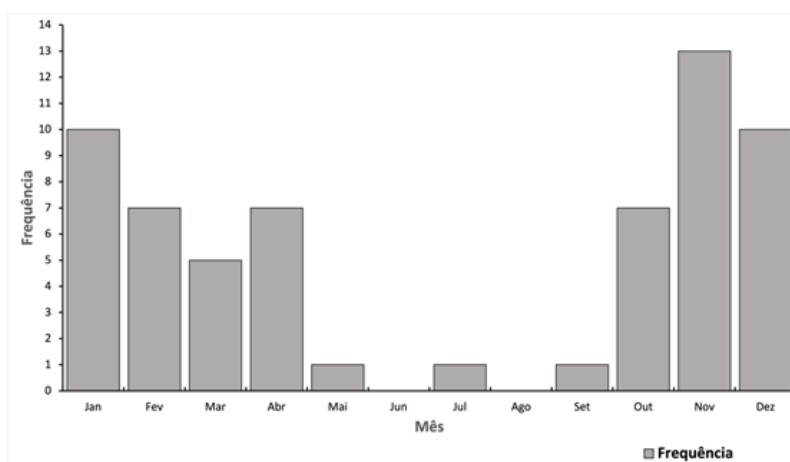


Figura 05: Frequência mensal de eventos pluviais extremos em Brasília-DF (1963-2019). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)..

Observa-se, no gráfico, que no mês de abril, já no final do período chuvoso, ainda ocorrem eventos extremos de chuva, os quais ocasionam danos que são noticiados pela imprensa e gestores públicos locais como extemporâneos (BRAGA, 2016). Os dados, expressos na série histórica, mostram que esses eventos já poderiam ser previstos pelos órgãos de governo, para que se preparassem devidamente a fim de enfrentar os impactos derivados, pois, de acordo com Rocha (2019), remontam à década de 1980 e, desde então, ocorrem com certa regularidade.

A distribuição de eventos extremos de chuva por década, isto é, daqueles identificados a partir do limiar do Percentil 99, não indicou qualquer tendência relevante de alteração ou mudança. O gráfico da Figura 06, a seguir, mostra que cada década, com exceção de 1981-1990, apresentou entre 9 e 13 eventos pluviais extremos. Em 1981-1990 foram apenas 5 episódios. Cabe destacar que os períodos 1963-1970 e 2011-2019 não constituem décadas completas.

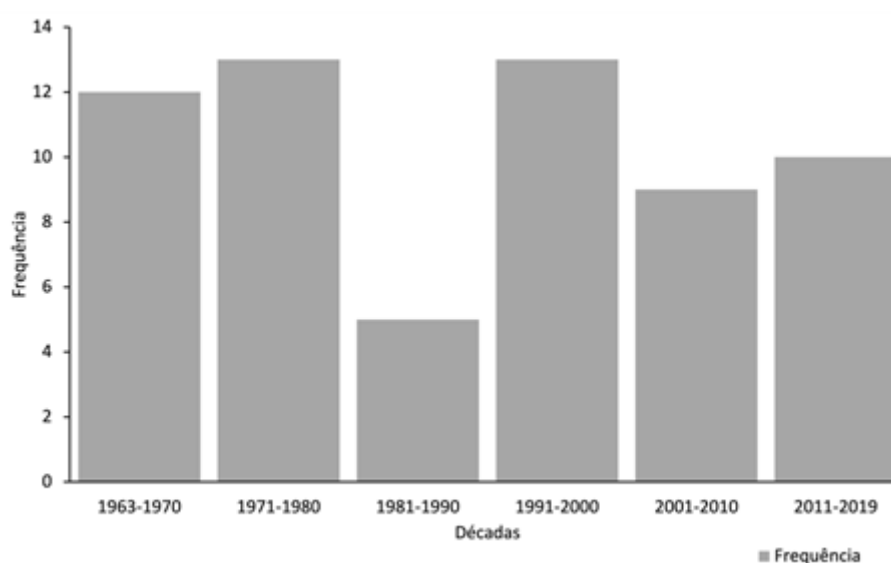


Figura 06: Frequência de eventos pluviais extremos em Brasília-DF, por década. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Dado semelhante é observado quando examina-se eventos de chuva forte e extremamente forte, não ocorrendo alterações significativas evidentes ao longo das décadas (Figura 07). Esse resultado contrasta com aquele encontrado por Marengo et al. (2020) para a Região Metropolitana de São Paulo, onde os autores identificaram um importante incremento no número de episódios de chuva superior a 50 mm desde a década de 1950, sobretudo nos últimos 10 anos.

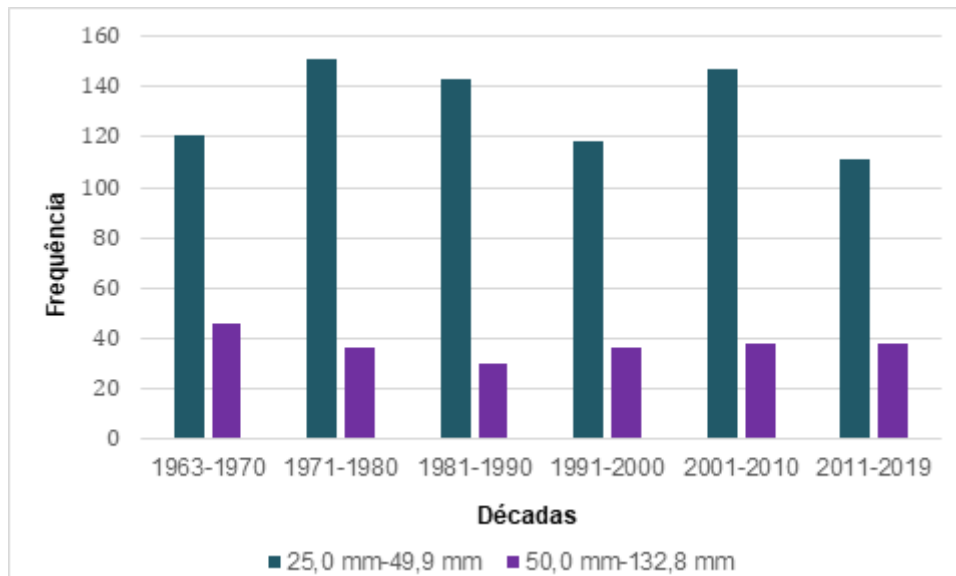


Figura 07: Frequência de eventos de chuva forte e extremamente forte em Brasília-DF, por década. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Por fim, a aplicação do teste Mann-Kendall não detectou tendências com significância estatística na série de dados de precipitação pluvial, no período 1963-2019. O teste foi aplicado para diferentes classes de chuva e os resultados são apresentados na Tabela 03.

Classes	P-valor	Tendência
0 mm – 132,8 mm	0.238307536	Decrescente
1,0 mm – 132,8 mm	0.417735815	Decrescente
25,0 mm – 49,9 mm	0.14553833	Crescente
50 mm – 132,8 mm	0.916180134	Decrescente
≥ 72,3	0.60562706	Decrescente

TABELA 03: Resultados dos Testes Mann- Kendall. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O p-valor das amostras foi sempre superior a 0,05 (nível de significância escolhido), portanto, admite-se a Hipótese Nula (H0) e rejeita-se uma Hipótese Alternativa (H1). Tais resultados, provavelmente, decorrem da grande dispersão dos dados ao longo do período.

Episódios de chuva forte e extremamente forte, como os que foram analisados anteriormente, são potenciais deflagradores de alagamentos no DF, aqui considerados como sendo acumulações da água na superfície de um terreno em função de uma série de fatores, principalmente das características do meio físico, mau funcionamento de obras de drenagem e escoamento e/ou precipitações

pluviométricas de alta intensidade em regiões não associadas à hidrografia da região (CARVALHO et al., 2007).

Áreas críticas a alagamentos no DF

O DF se constitui numa unidade federativa diferente das demais do Brasil, possuindo, por esse motivo, características peculiares e distintas. Uma delas é que o DF não pode ser dividido em municípios. Dessa forma, com o objetivo de facilitar a sua administração, seu território foi dividido em Regiões Administrativas (RA), que hoje somam 33. Todas essas RA, incluindo a área planejada da Capital Federal, conhecida como Plano Piloto de Brasília, seguem apresentando inúmeros casos de desastres relacionados a eventos extremos de chuva, incluindo alagamentos, afetando diretamente a população. O Laboratório de Climatologia Geográfica da UnB (LCGea), desde o ano 2000, vem realizando um inventário sobre os pontos de alagamentos no DF e, até o presente momento, foram identificados 462 pontos (figura 8).

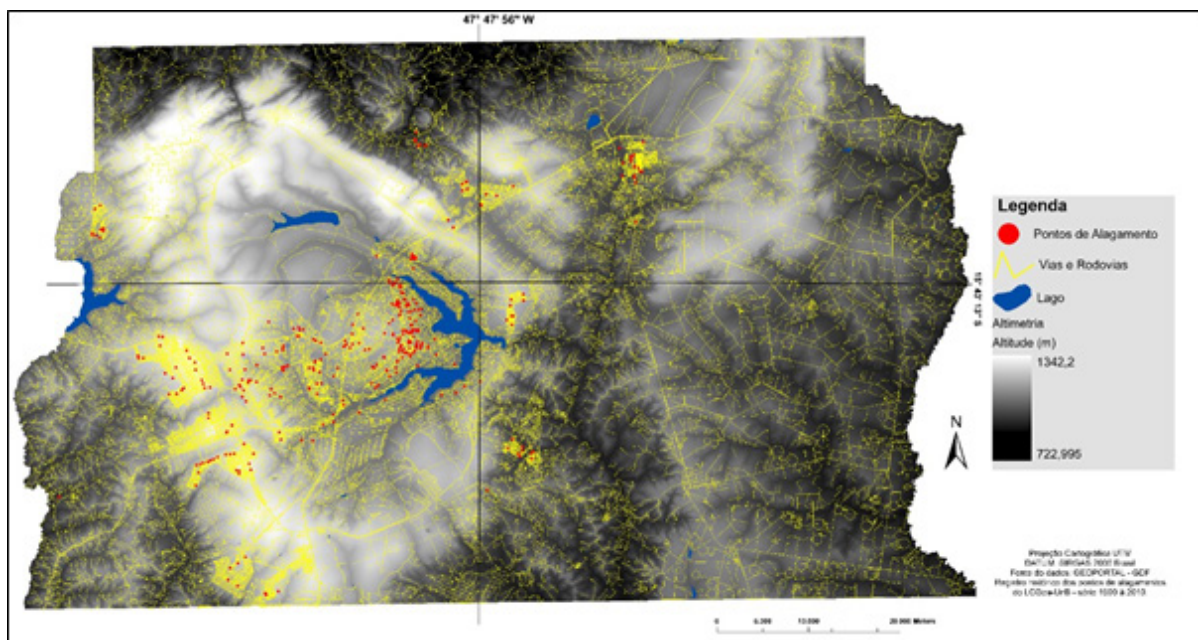


Figura 8: Localização dos 462 pontos de alagamentos identificados entre 2000 e 2019 nas áreas urbanas do DF. Fonte: Steinke et al., 2023.

Na figura 8, pode-se observar que em praticamente toda a área urbana do DF ocorrem alagamentos. Em uma primeira análise, é possível identificar que a densidade maior de registros históricos de alagamentos se encontra na área central, na RA Brasília, no Plano Piloto, especialmente nos bairros da Asa Norte e Asa Sul. Nessa área urbana consolidada, os alagamentos são constantes em função do processo de impermeabilização do solo das regiões à montante, como é o caso das quadras 900, localizadas nas partes mais elevadas desses bairros e, portanto, consideradas áreas de recarga do lençol freático. Por esse motivo, previa-se uma ocupação de baixa densidade nessas quadras, porém, atualmente,

encontram-se quase todas impermeabilizadas e ocupadas por áreas urbanas. Esse processo fez com que a rede de drenagem original se tornasse ultrapassada.

A figura 9 ilustra o que foi citado anteriormente, o que os habitantes do DF conhecem muito bem e há muito tempo: situações como estacionamentos subterrâneos, ruas e viadutos alagados, que se repetem sistematicamente todos os anos. Inúmeros fatores podem ser elencados para tentar explicar esse fato. No senso comum, predominam as afirmações vinculadas meramente às questões de infraestrutura urbana como, a ausência de manutenção adequada das redes pluviais (redes antigas e subdimensionadas), entupimento de bueiros, drenagem pluvial deficiente e/ ou inexistente, desmatamento em áreas de recarga pluvial e a ocorrência de eventos extremos de chuva. O mais provável é que todos esses fatores, conjuntamente, contribuam para o problema.



Figura 9: Notícia veiculada por jornal impresso sobre a repercussão de um episódio de chuva forte que atingiu as RA Plano Piloto e Ceilândia. Fonte: Correio Brasiliense, 2015.

No entanto, uma análise geográfica do sítio urbano do DF exige atenção para elementos originários da paisagem que não foram considerados no projeto urbanístico original da capital federal, como os aspectos do relevo, topografia, solos, drenagem pré-existente e, de modo ainda mais criterioso, as bacias de drenagem que alimentavam pequenos córregos originais e que foram suprimidos. Nesse sentido, o trabalho de Pessoa e Steinke (2020) aponta uma análise mais profunda e necessária para os problemas de alagamentos nas áreas urbanas do DF.

No DF é sabido que a expansão da área urbana foi executada em função, principalmente, de aspectos políticos vigentes em cada gestão governamental, em detrimento dos critérios ambientais e do relevo. Esse fato acaba por gerar novos pontos críticos aos alagamentos, ano após ano, como são os casos, por exemplo, das regiões de Vicente Pires, Águas Claras, Itapoã, Fercal entre outros, que, indistintamente das classes sociais ali presentes, sofrem com os mesmos problemas de alagamentos. Obviamente, as classes sociais menos favorecidas se encontram em situação mais vulnerável, uma vez que não possuem a mesma resiliência econômica para enfrentar os prejuízos ocasionados pelos alagamentos.

Nesse contexto, destaca-se um elemento que, historicamente, sempre foi negligenciado pelas instituições de ordenamento do território local – o relevo. A condição geomorfológica do sítio urbano do DF se consolidou, no senso comum, como sendo considerada plana e suave ondulada e, com base nessa premissa, sua apropriação ocorreu de forma indiscriminada. Nesse aspecto, destaca-se a ausência de estudos detalhados sobre o relevo do DF, em escala cartográfica adequada (1:2.000), o que dificulta antever o problemas dos alagamentos.

Inúmeros casos de alagamentos podem ser citados: em fevereiro de 2004, por exemplo, a Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros foram acionados praticamente todos os dias para atender ocorrências de diversos tipos, desde alagamentos que desabrigaram inúmeras famílias, passando por enxurradas, deslizamentos e quedas de árvores, que destruíram o patrimônio público e particular. A configuração de episódios de ZCAS determinou a ocorrência de volumes elevados de chuva no mês em questão. O Inmet registrou, na estação Brasília, um total de precipitação mensal de 422,3 mm, quase o dobro previsto pela Normal Climatológica do mês, que é de 217,5 mm.

No ano de 2006, o volume de chuva do mês de outubro também provocou alagamentos em todo o DF. Segundo informações do Inmet, nesse mês, na estação Brasília, o total de chuva alcançou 526,4 mm, o qual corresponde a 205% a mais que a Normal Climatológica para o mês, que é de 166,6 mm. Segundo informações do Inmet, quatro sistemas frontais atingiram a região e o escoamento do ar proporcionou condições favoráveis ao desenvolvimento de áreas de instabilidade em grande parte do mês, provocando episódios de chuvas extremas

como os que ocorreram entre os dias 7 e 8, totalizando 69,7 mm em 24h (não listado na tabela 2 por ocorrer fora da área central do DF) e entre os dias 26 e 27, totalizando 103,1 mm em 24h, este identificado e listado na análise realizada anteriormente (tabela 2).

As áreas de instabilidade que influenciaram a região Centro-Oeste, em outubro de 2006, contribuíram para um grande aumento na quantidade de chuva; a estação Brasília (INMET) bateu o recorde de volume de chuva acumulado para o mês. Do início do mês até o dia 27, o acumulado estava em 513,6 mm, superando os 425,8 mm de outubro de 1981, o recorde anterior de toda a série histórica.

Como resultado, foram observados vários impactos, incluindo ocorrências de alagamentos na Fercal, Núcleo Bandeirante, Vicente Pires, Samambaia e diversas outras RA do DF. No Plano Piloto, dois prédios comerciais ficaram alagados, várias tesourinhas – nome regional dado aos viadutos que ligam as quadras 200 às 100, das Asas Sul e Norte, do Plano Piloto (figura 10) – foram interditadas devido aos alagamentos.



Figura 10: Exemplo de uma “tesourinha”, na Asa Norte, alagada em dezembro de 2021. Fonte: G1, 2021.

As características climáticas dos meses de março e abril representam a passagem do período úmido para o mais seco. O mês de março ainda é considerado um mês chuvoso em função da vigência da situação de verão. No mês de abril, embora seja registrada diminuição gradual da quantidade de chuva, ainda podem ocorrer episódios de chuvas intensas, típicas de mudanças de estações (STEINKE e STEINKE, 2001).

Em 10 de abril de 2011, por exemplo, ocorreu um evento pluviométrico que,

segundo o Inmet, durou cerca de uma hora e meia e acumulou 43,8 mm de água na estação Brasília. Esse montante representou quase o triplo da quantidade de chuva registrada nos dez primeiros dias de abril daquele ano, ou seja, 16,1 mm. Correspondeu, ainda, a 35,6% da Normal Climatológica para o mês, que é 123,8 mm. De acordo com o CPTEC/INPE (2011), esse evento chuvoso ocorreu devido à entrada de áreas de instabilidade, provenientes do norte do país que estiveram associadas ao deslocamento da ZCIT ao sul de sua posição climatológica e à influência de distúrbios ondulatórios de leste (DOL)¹, os quais contribuíram para a formação de áreas de baixa pressão, durante a primeira quinzena de abril, fazendo com que predominassem chuvas acima da média histórica, na maior parte do Brasil.

Como resultado foram registrados inúmeros casos de alagamentos, em diversas RA do DF. A Asa Norte foi uma região muito atingida, inclusive com o alagamento de parte do Instituto Central de Ciências (ICC) Norte, da Universidade de Brasília (UnB). Dados do Inmet indicam que houve uma precipitação de 25,8 mm com duração de uma hora, na Asa Norte, contudo, especialistas acreditam que o volume de chuva precipitado na Universidade foi, provavelmente, maior do que o registrado pelo Inmet. Infelizmente, não é possível precisar o volume exato precipitado sobre a área, pois não há aparelhos de medição ativos no campus da Universidade.

O volume de água acima do normal, associado a problemas de drenagem na Asa Norte, provocaram os estragos observados no campus da UnB. O subsolo do ICC Norte funcionou como um gigantesco reservatório para a água, que não tinha para onde escorrer. Isso ocorreu porque a arquitetura do prédio, muito extenso e com subsolo, favorece problemas relacionados a drenagem da água da chuva. Além disso, o prédio se localiza paralelo às curvas de nível da Asa Norte, por isso, quando chove, a água encontra uma barreira e escorre pelos respiradores até o subsolo do edifício.

No ano de 2015, o volume de chuvas, na estação Brasília, ultrapassou metade do esperado para o mês de abril. Até a metade do mês, já tinham sido registrados 88,8 mm, ou seja, 71% da Normal Climatológica do mês; essas chuvas ocorreram em forma de intensos temporais. A Defesa Civil registrou a ocorrência de diversos pontos de alagamentos, além de outros problemas (figura 09).

Embora a quantidade de chuva, originada de um evento extremo, contribua para a questão dos alagamentos no DF, outro elemento deve ser considerado: a ocupação não planejada de áreas decorrentes de processos de invasões, como nas RA de Vicente Pires e Arniqueiras, e em regiões ocupadas recentemente de forma regular como Águas Claras (vertical) e o Setor Noroeste – setor habitacional que começou a ser construído em 2010, porém que ainda não possui qualquer

¹ Distúrbios ondulatórios de leste (DOL) são sistemas atmosféricos presentes na região tropical, preferencialmente sobre áreas dos oceanos Atlântico e Pacífico. Sobre o Atlântico são identificados, inicialmente, próximos à costa oeste do continente Africano e se propagam embebidos no fluxo dos Alísios, em forma de ondas que se deslocam de leste para oeste (NEVES, et al, 2016).

tipo de rede de drenagem. Esse fato mostra que o prazo regulamentar de quatro anos, a contar do registro dos lotes no Cartório (Lei 6.766/79, art. 18, inciso V), de que dispõe a Terracap, é desconsiderado, o que reflete em impactos em áreas mais rebaixadas para onde as águas escoam, como a Asa Norte.

Na RA Águas Claras, ocupada por edifícios altos e adensados, problemas de alagamentos ocorrem desde a sua criação, em 1992. De forma geral, a região possui pouca capacidade de escoamento das águas pluviais, em função do alto grau de impermeabilização do solo e de um sistema de drenagem urbana ineficaz. A Figura 11 ilustra o problema recorrente.



Figura 11: Alagamento na Região Administrativa de Águas Claras após evento de chuva forte em abril de 2023. Fonte: Rafael Rodrigues da Franca.

Esses são apenas alguns exemplos dos alagamentos que têm se tornado cada vez mais recorrentes em todo o DF, em razão da combinação dos eventos extremos de chuva com a crescente impermeabilização do solo, originada de novas construções e a continuidade dos padrões de ocupação do solo urbano de bases tradicionais. Esse fato incrementa o escoamento superficial e a magnitude do pico de cheia, que, nas bacias localizadas em áreas urbanas, costuma ocorrer em menos tempo (TUCCI, 2005). As constantes alterações de ocupação do solo nas áreas urbanas já consolidadas, aliadas à falta de manutenção dos sistemas de drenagem (bueiros) e sua não desobstrução são, também, grandes contribuidores dos alagamentos.

Sendo as cidades inteligentes uma tendência global, é necessário averiguar quais ações seriam necessárias, no caso do DF, para minimizar ou mesmo evitar os alagamentos originados dos eventos extremos de chuva. Ações como a utilização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, de pavimentos permeáveis e o emprego de telhados verdes são exemplos que visam reduzir a vazão drenada superficialmente, originada do escoamento superficial intensificado pelo aumento da impermeabilização e da redução nas taxas de infiltração nas áreas urbanas.

Um bom exemplo a ser seguido é o que já vem ocorrendo em várias cidades brasileiras, com a utilização do que se conhece como bueiros inteligentes (BARRIVIERA e CARVALHO PASCHOAL, 2022), que utilizam um mecanismo para evitar seu entupimento, por meio de um filtro que evita a passagem de resíduos sólidos e de um sensor que mede, de 12 em 12 horas, o volume de resíduos, disparando um alarme caso haja risco de transbordamento. A comunicação é realizada via Wi-Fi ou GPRS. De forma simplificada, sensores volumétricos são fixados em cestos plásticos que são encaixados nos bueiros, e funcionam como filtros restando o lixo sólido e impedindo seu entupimento. Quando os resíduos atingem o nível limite, um dispositivo (sensor) emite um alerta às autoridades responsáveis, que providenciam a limpeza. A ideia é evitar o acúmulo de resíduos nas galerias de águas pluviais em decorrência da fragilidade no escoamento das águas das chuvas, que promovem o entupimento dos bueiros e por consequência, os alagamentos.

O governo do DF está ciente da ocorrência de enxurradas, alagamentos e estragos na época das chuvas, por isso, lançou, em janeiro de 2023, o Programa de Gestão de Águas e Drenagem Urbana do Distrito Federal (Drenar DF), que favorecerá, principalmente, a parte central do DF. Simplificadamente, haverá uma duplicação da rede subterrânea de drenagem para aumentar a capacidade do sistema, bem como a construção de um reservatório, para receber as águas das chuvas ao fim do percurso. Implantado em uma área de 36 mil m², dentro de um Parque Urbano, o equipamento funcionará como uma lagoa, com volume útil de 70 mil m³ de água (METRÓPOLES, 2023).

Essa obra é de elevada importância para Brasília e para as outras RA do DF, porém, para que essas se tornem cidades inteligentes e sustentáveis, a partir do modelo pré-existente, deve-se considerar os problemas das nossas cidades de forma integrada. É necessário propor iniciativas que considerem as abordagens prioritárias para adaptação, ou seja, o aumento da capacidade de adaptação, redução da exposição e redução da vulnerabilidade aos eventos extremos de chuva. Assim, a formação de cidades inteligentes e sustentáveis exige esforços multidimensionais e interconectados.

Considerações finais

Os exemplos de episódios de alagamentos aqui descritos, oriundos de

eventos extremos de chuva, revelam a necessidade urgente da readaptação das cidades do DF, para enfrentamento de seus impactos, sobretudo porque a infraestrutura das cidades não está preparada para lidar com esse tipo de problema, que se torna cada vez mais frequente devido às mudanças climáticas.

Observa-se que, no DF, o período do ano com maior frequência na ocorrência de eventos extremos de chuva se estende de outubro a abril. Merece destaque, de modo particular, o mês de abril, por se situar no final do período chuvoso, quando os solos já se encontram saturados em função do expressivo volume de chuvas que ocorre no trimestre anterior, o que pode agravar os impactos da chuva sobre a superfície urbana.

A partir dos resultados, verifica-se que os eventos pluviais com acumulado igual ou superior a 72,3 mm/dia podem ser considerados extremos em Brasília-DF. No período analisado (1963-2019), tais eventos ocorreram cerca de 1 vez ao ano ou a cada 334 dias. Desse modo, eventos pluviais extremos não cabem ser tratados com surpresa pelos gestores públicos e devem ser considerados no planejamento urbano das RA que compõem o DF.

Embora a análise sobre os eventos extremos tenha sido realizada somente com dados referentes à estação meteorológica de Brasília, localizada na área planejada da capital federal – o Plano Piloto, a análise geográfica mostrou que outras RA também são atingidas por eventos extremos de chuvas, que provocam os episódios de alagamentos. Porém, grande parte dos pontos de alagamentos (33%) se localiza na Asa Norte, alguns dos quais, apesar de estarem em áreas urbanas consolidadas e com alta impermeabilização, possuem um nível freático que impede a infiltração no solo das águas pluviais. Isso é verificado pelas formas do terreno suscetíveis a acumulação de água (convergente) e pelos altos valores de área de fluxo acumulado.

Para que seja possível melhor retratar a situação dos eventos extremos de chuva, em um contexto mais regional, sugere-se que a metodologia aqui adotada seja empregada para dados de estações meteorológicas localizadas em outras RA. Porém, se as projeções do IPCC, que sugerem para boa parte do Brasil aumentos na frequência de eventos extremos de chuva, confirmarem-se, será necessário a aplicação de políticas de gestão e planejamento territorial mais contundentes, no DF, no sentido de conferir um mínimo de segurança para a população.

Também é de grande importância que os governos compartilhem informações sobre suas estratégias, processos, instrumentos e ferramentas de avaliação de impactos e riscos adotados para suas cidades, a fim de expandir suas capacidades e eficiências de ações na diminuição da vulnerabilidade e na implantação de adaptações necessárias para um desenvolvimento urbano mais sustentável.

Dessa forma, promover a adaptação das cidades às mudanças climáticas,

no sentido de torná-las inteligentes, deve constituir um dos eixos centrais da gestão urbana, na qual as ações de planejamento necessitam estar embasadas em pesquisas científicas e reflexões teóricas. É urgente que os agentes gestores busquem novas metodologias e ferramentas de monitoramento e avaliação da adaptação das cidades, utilizando, como já citado, as TIC e a cooperação em rede. Pois, só assim, a associação entre políticas públicas e ações privadas poderão avaliar a qualidade do ambiente urbano.

Em conclusão, o início do século XXI está sendo marcado, de acordo com os mais recentes estudos, por fenômenos como temperaturas extremas, secas, tempestades, inundações, entre outros, e seus consequentes desastres. Portanto, a produção científica e as ações do poder público necessitam estar voltadas para o entendimento desses fenômenos e para a indicação de medidas que auxiliem os gestores a enfrentarem os novos desafios que se colocam, principalmente nas cidades que concentram população e capital, pois nelas ocorrem os maiores danos. Por esse motivo, é mais do que justificável a introdução da questão climática no campo disciplinar dos estudos urbanos.

Referências

- BARBI, F. Governing Climate Change in China and Brazil: Mitigation Strategies. *Journal of Chinese Political Science*, 21 (3), 357-370, 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11366-016-9418-y>>. Acesso em Dez 2022.
- BARROS, J. R. 2003. A chuva no Distrito Federal: o regime e as excepcionalidades do ritmo. Rio Claro, 2003. 221 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/86531/barros_jr_me_rcla.pdf?sequence=1>. Acesso em Nov 2022.
- BARRIVIERA, M. H.; de CARVALHO PASCHOAL, R. A. Cidades inteligentes no Brasil. *Revista Eletrônica e-Fatec*, 12(1). 2022. Disponível em: <<https://pesquisafatec.com.br/ojs/index.php/efatec/article/view/283>>. Acesso em Dez 2022.
- BASSO, L.; VIOLA, E. From co-leader to loner: Brazilian wavering positions in climate change negotiations. In: ISSBENER, L.; LÉNA, P. (ed.). *Brazil in the Anthropocene: Conflicts between predatory development and environmental policies*. London: Routledge, 177-201, 2017.
- BENTO, S. C., DEMELO CONTI, D., BAPTISTA, R. M., GHOBRI, C. N. As novas diretrizes e a importância do planejamento urbano para o desenvolvimento de cidades sustentáveis. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS*, 7(3), 469 – 488. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/330817264-As_Novas_Diretrizes_e_a_Importancia_do_Planejamento_Urbano_para_o_Desenvolvimento_de_Cidades_Sustentaveis>. Acesso em Dez 2022.

BRAGA, J. O. Alagamentos e inundações em áreas urbanas: estudo de caso na cidade de Santa Maria/DF. Brasília. Monografia de Graduação (Bacharelado em Geografia) – Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, 2016. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/19267/1/2016_JuliaOliveiraBraga.pdf>. Acesso em Nov 2022.

Brasília Alagada. Correio Brasiliense. 23 de janeiro de 2015. Cidades. Impresso.

CARVALHO, J. C. DE; GITIRANA JUNIOR, G. DE F. N.; CARVALHO, E. T. L. Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Brasília: FT/UnB, Série Geotecnia – UnB, v. 4, 2007, p. 101-116. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/350189579_Topicos_sobre_infiltracao_teorica_e_pratica_aplicadas_a_solos_tropicais>. Acesso em Nov 2022.

Chuva causa alagamento e motoristas andam pela contramao em Águas Claras, no DF. G1-DF, Brasília, 15 de janeiro de 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/chuva-causa-alagamento-e-motoristas-andam-pela-contramao-em-aguas-claras-no-df-video.ghtml>>. Acesso em Jan 2023.

Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices. Climate Change. Disponível em: <http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml>. Acesso em: 12 de abril 2022.

FERNANDES, G. de S. Utilização de Pavimento Permeável de Concreto com Agregados de Rcd na Mitigação de Alagamentos: Estudo de Caso do Estacionamento do Instituto Central de Ciências da Unb. Brasília, 2020. 145 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade De Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Disponível em <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/39525>>. Acesso em Nov 2022.

Fim dos alagamentos! Obras do Drenar DF já começaram na Asa Norte. Metrôpoles, Brasília, 23 de janeiro de 2023. Disponível em: <<https://www.metropoles.com/conteudo-especial/fim-dos-alagamentos-obras-do-drenar-df-ja-comecaram-na-asa-norte>>. Acesso em Jan 2023.

FRANCA, R. R. da. Eventos pluviais extremos na Amazônia Meridional: riscos e impactos em Rondônia. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/37677>>. Acesso em Dez 2022.

GAN, M.; RODRIGUES, L. R.; RAO, V. B. Monção na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. da. (Org.). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, p. 297-316, 2009.

GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. DE. A. Eventos pluviais extremos em Curitiba

(Paraná): entre antigos problemas e novos desafios In: PEREZ FILHO, A., AMORIM, R. R. (ORG.). Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. 1ª ed. Campinas, Instituto de Geociências - UNICAMP, vol. 1, p. 1919-1930, 2017.

GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. A. Eventos e episódios pluviais extremos: a configuração de riscos hidrometeorológicos em Curitiba (Paraná - Brasil). IDEAS, v. 15, p. 1-17, 2020.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais Climatológicas (1961 - 1990). Brasília: DNMET, 1992.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 2012. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em Dez 2022.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change - The Physical Science Basis. Summary for Policymakers - Technical Summary, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 2013. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em Dez 2022.

MACHADO, J. P.; MACHADO, C. F. C., SCHIEWALDT, C. B. Eventos Extremos de Precipitação no Município de Bauru-SP. Possibilidade de Ocorrências de Desastres Naturais? Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, Rio de Janeiro, v. 42, n. 1, p. 255-266, 2019. Disponível em: <<https://papegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13127>>. Acesso em Jan. 2023.

MARENGO, J. A. CAMARINHA, P. I.; ALVES, L. M.; DINIZ, F.; BETTS, R. A. Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil. Frontiers in Climate. V. 3, 2021. Disponível em <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2021.610433/full>>. Acesso em Dez 2022.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; YOUNG, A.; BARRETO, N. J. C.; RAMOS, A. M. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. Annals of the New York Academy of Sciences, v. 20, p. nyas.14307, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/339248165_Trends_in_extreme_rainfall_and_hydrogeometeorological_disasters_in_the_Metropolitan_Area_of_Sao_Paulo_a_review>. Acesso em Jan 2023.

MENDONÇA, F. DE A. Riscos, vulnerabilidades e resiliência socioambientais urbanas: inovações na análise geográfica. Revista da Anpege, v. 7, n. 1, p. 111-118, 2011. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6557>>. Acesso em Dez 2023.

- MELO, L. A. M. P.; STEINKE, V. A. Avaliação da dinâmica de urbanização no Distrito Federal entre 2005 e 2009. *Geografia* (Rio Claro. Impresso), v. 38, p. 491-509, 2013. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/8175>>. Acesso em Dez 2022.
- MESQUITA, F. N.; SILVESTRE, K. S.; STEINKE, V. A. Urbanização e degradação ambiental: Análise da ocupação irregular em áreas de proteção permanente na região administrativa de Vicente Pires, DF, utilizando imagens aéreas do ano de 2016. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.10, n.03, 2017, 722-734. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234021>>. Acesso em Jan. 2021.
- MODARRES, R.; DA SILVA, V. P. R. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *J. Arid Environmental*, Amsterdã, v. 70, p. 344–355, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196307000225>>. Acesso em Dez 2022.
- MONTEIRO, C. A. de F. O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas (1976). São Paulo: IGEOG-USP, 1976.
- MONTEIRO, J. B. Desastres Naturais no Estado do Ceará: uma análise de episódios pluviométricos extremos. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/17661>>. Acesso em Jan 2023.
- MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. A metodologia dos máximos de precipitação aplicada ao estudo de eventos extremos diários nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral-CE. *Geotextos* (Online), v. 13, n. 2, p. 135-159, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/24011>>. Acesso em Nov 2022.
- MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. Eventos extremos no estado do Ceará, Brasil: uma análise estatística de episódios pluviométricos no mês de março de 2019. *Geotextos*, v. 15, p. 149-173, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/32093>>. Acesso em Dez 2022.
- NEVES, G. Z. F. A Chuva no Estado de Goiás e Distrito Federal: Aspectos Espaciais, Temporais e Dinâmicos. *Revista Brasileira de Climatologia*. Ano 15 – Edição Especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – Jun 2019. Disponível em: <<file:///Users/mac/Downloads/66147-265764-2-PB.pdf>>. Acesso em Jan 2023>. Acesso em Dez 2022.
- NEVES, D. J. D.; ALCÂNTARA, C. R.; SOUZA, E. P. de. Estudo de Caso de um Distúrbio Ondulatório de Leste sobre o Estado do Rio Grande do Norte – Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, 490-505, 2016. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/npGtGGMYxwSTwxdpBVyJbrK/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em Dez 2022.

NOBRE, C. e YOUNG, A. F. (ed) Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Campinas: NEPO, 2011. Disponível em: <https://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/livros/megacidades/megacidades_RMSP.pdf>. Acesso em: Dez 2022.

OLIVEIRA SENA, J. P. DE.; BESERRA LUCENA, D.; MORAES NETO, J. M. Eventos pluviiais intensos e seus impactos em Campina Grande-PB. Revista de Geociências do Nordeste, v. 5, p. 69-77, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/17974>>. Acesso em Nov 2022.

PAZ, C. M. V.; SANCHES, F. de O. Ocorrência de eventos extremos de precipitação em Uberaba(1959-2015)esua relação com as mudanças climáticas. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (Org.). Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento. 1ª ed. Campinas, Instituto de Geociências - UNICAMP, vol. 1, p. 2639-2642, 2017.

PAZ, C. M. V.; SANCHES, F.; FERREIRA, R. V. Chuvas em Uberaba/MG: um estudo sobre a ocorrência de eventos extremos. Entre Lugar, v. 10, p. 102-121, 2019. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/10278>>. Acesso em Jan 2023.

PESSOA, G. E.; STEINKE, V. A. Evolution of Land Use in Two Drainage Basins in an Urban Area of Brasília- DF/Brazil. Journal of Service Science and Management, v. 13, p. 769-784, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Land-use-evolution-of-the-drainage-basin-Olhos-dagua_fig3_346026925>. Acesso em Dez 2022.

PINTO, Y. J. DE O.; COSTA, M. E. L.; ALVES, C. de M. A. Modelagem Da Drenagem Urbana – Estudo de Caso na Rede da Asa Norte, Brasília-DF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22, 2017, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Maria-Elisa-Costa-2/publication/321945877_MODELAGEM_DA_DRENAGEM_URBANA-ESTUDO_DE_CASO_NA_REDE_DA_ASA_NORTE_BRASILIA-DF/links/5a3a7d7aaca2728e698a9efe/MODELAGEM-DA-DRENAGEM-URBANA-ESTUDO-DE-CASO-NA-REDE-DA-ASA-NORTE-BRASILIA-DF.pdf>. Acesso em Jan. 2023.

PULJIZ, M. Carros ficam submersos em tesourinha da Asa Norte e criança de 1 ano precisa ser resgatada no DF. Sítio do G1, 01/12/2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2021/12/01/carros-ficam-submersos-em-tesourinha-da-asa-norte-e-crianca-de-1-ano-precisa-ser-resgatada-no-df.ghtml>>. Acesso em Dez. 2022.

ROCHA, M. A. da. Paisagem urbana integrada às técnicas compensatórias de drenagem: solução para os alagamentos em Brasília. Brasília, 2019. Dissertação (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de

Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/36749>>. Acesso em Dez 2022.

SANCHES, F.; VERDUM, R.; FISCH, G.; GASS, S. L. B.; ROCHA, V. M. Extreme Rainfall Events in the Southwest of Rio Grande do Sul (Brazil) and Its Association with the Sandization Process. *American Journal of Climate Change*, v. 08, p. 441-453, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/336438761_Extreme_Rainfall_Events_in_the_Southwest_of_Rio_Grande_do_Sul_Brazil_and_Its_Association_with_the_Sandization_Process>. Acesso em Dez 2022.

SILVA, C. C.; COSTA, M. E. C.; GOMES, C. I. D.; KOIDE, S. Modelagem da Drenagem Urbana – Estudo de Caso na Sub - Bacia da Asa Sul-DF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22, 2017, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em <<http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/60/PAP023173.pdf>>. Acesso em jan. 2021 >. Acesso em Dez 2022.

SILVA, A.A.; GATTO, F.D. M.; RIBEIRO, J.E. M.; MEDEIROS, L.F. P.; PINHEIRO, M.A. O.; FRANCA, R.R. Comportamento Climatológico da Pluviosidade no Distrito Federal –Período 1979-2009. Editora UFC, XVIII –Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Livro Geografia Física e as Mudanças Globais, 18ª Edição, 2019. Disponível: <<http://www.editora.ufc.br> >. Acesso em: dez. 2022.

STEINKE, E. T. e STEINKE, V. A. Clima Urbano de Brasília a Degradação da Qualidade de Vida da População. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 9, 2001 (a), Buenos Aires, Anais... Buenos Aires: FLISM. 1 CD ROM.

STEINKE, V. A. e STEINKE, E. T. Variação espaço-temporal da pluviosidade no Distrito Federal e seus condicionantes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 4, 2001 (b), Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ. 1 CD ROM.

STEINKE, E. T.; BARROS, J. R. Tipos de tempo e desastres urbanos no Distrito Federal entre 2000 e 2015. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 08 n. 05 p. 1435-1453, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233484>>. Acesso em Nov 2022.

STEINKE, V. A.; PALHARES DE MELO, L. A. M.; STEINKE, E. T. Rainfall Variability in January in the Federal District of Brazil from 1981 to 2010. *Climate*, v. 5, 2017. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2225-1154/5/3/68>>. Acesso em Dez 2022.

STEINKE, E. T.; STEINKE, V. A.; FRANCA, R. R. da. Geographic Analysis of Flooding in the Urban Area of the Federal District, Brazil. In: MENDONÇA, F.; FARIAS, A.; BUFFON, E. (Eds). *Urban Flooding in Brazil*. Springer, cap. 14, p. 321-346, 2023.

STEPHENSON, D. B. Definition, diagnosis and origin of extreme weather and climate events. In: DIAZ, H.F.; MURNANE, R. J (Org.). *Climate Extremes and Society*, Cambridge University Press, p. 11-23, 2008.

TABARI, H.; MAROFI, S.; AHMADI, M. Long-term variations of water quality parameters in the Maroon River, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, Amsterdam, v. 177, n. 1-4, p. 273–287, 2010. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20700652/>>. Acesso em Jan 2023.

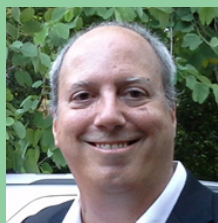
TABARI, H.; MAROFI, S.; HOSSEINZADEH TALAEI, P.; MOHAMMADI, K. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agriculture and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 151, p. 128–136, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192310002558>>. Acesso em Dez 2023

TUCCI, C.E.M. Águas urbanas: interfaces do gerenciamento. In: PHILLIPI JÚNIOR, A. (Org.) Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. 2. ed., Barueri: Editora Manoele Ltda., 2005, p.375-414.

UN-Habitat. World Cities Report 2022. Envisaging the future of cities. Disponível em: <https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf>. Acesso em Dez 2022.

CAPÍTULO 8

Drenagem urbana sustentável, geotecnologias e cidades inteligentes



Fernando Rodrigues Lima

Doutorado (1993) e Mestrado (1987) ambos em Engenharia de Produção pela PEP/COPPE/UFRJ, Especialização em Altos Estudos em Política e Estratégia (CAEPE) pela Escola Superior de Guerra (ESG-1997) e Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela FAU/UFRJ – 1985. Atualmente realiza Pós-Doutorado na UFRJ. É Professor Titular da POLI/UFRJ, aposentado em 03/2017 e reintegrado como Professor Colaborador Voluntário. Entre 2008 a 2016 foi Coordenador do Programa de Engenharia Urbana (PEU/POLI/UFRJ), onde também atua como Docente do Corpo Permanente desde sua implantação. Entre 1999 e 2012 foi Chefe do Departamento de Expressão Gráfica da POLI/UFRJ. Também foi coordenador de 2 Projetos de Intercâmbio Internacional com a UTC/França (2011 a 2018) e PVE/CSF/CNPq (2014 a 2016). Tem experiência na área de Engenharia Urbana, de Geoprocessamento e de Localização Industrial, atuando principalmente nos seguintes temas: CAD (modelagem 3D), Localização e Layout Industrial, Expressão Gráfica, Infraestrutura Urbana e Sistemas de Informação Geográfica.



Osvaldo Moura Rezende

Engenheiro Civil (POLI/UFRJ). Especialização em Engenharia Urbana (PEU-POLI/UFRJ, 2010). M.Sc. Engenharia Civil, área de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (PEC-COPPE/UFRJ, 2010). D.Sc. Engenharia Civil, Área de Recursos Hídricos e Saneamento (PEC-COPPE/UFRJ, 2018). Professor Adjunto do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ (DRHIMA-POLI/UFRJ).



Rodrigo Rinaldi de Mattos

Arquiteto e Urbanista (FAU/UFRJ, 1996), M.Sc Projeto Urbano (PROURB/FAU/UFRJ, 2003), D.Sc. Projeto Urbano (PROURB/FAU/UFRJ, 2008), Professor Adjunto do Departamento de Urbanismo e Meio Ambiente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ (DPUR/FAU/UFRJ, 2018), Professor do Mestrado Profissional em Arquitetura Paisagística (MPAP/PROURB/FAU/UFRJ, 2021), Professor do Programa de Pós-graduação e Urbanismo da FAU (MPAP/PROURB/FAU/UFRJ, 2023).

Drenagem urbana sustentável, geotecnologias e cidades inteligentes

Fernando Rodrigues Lima
Oswaldo Moura Rezende
Rodrigo Rinaldi de Mattos

INTRODUÇÃO

Uma Cidade Inteligente está inevitavelmente vinculada aos seus cidadãos. Mas do que trata, exatamente, a inteligência da cidade? São as high techs embarcadas em todo o aparato da cidade ou também a forma como cada cidadão a vivencia?

Em Cidades para pessoas, Jan Ghel (2010) põe em evidência um fato que deveria ser lugar comum: as pessoas são o que há de mais importante em uma cidade. Mesmo que a perspectiva de Ghel tenha potência para debates acalorados sobre a nossa responsabilização no antropoceno, a sua obra é de grande importância, pois põe a vida humana em primeiro plano, e isso não é trivial. A perspectiva biofílica (WILSON, 1984), por sua vez, trata da relação entre os seres humanos e a natureza, compreendendo os seres vivos e a dinâmica ecológica. A biofilia é o primeiro dos estágios apresentados nessa interpretação do esquema proposto por Mang e Reed (2012), como mostrado na Figura 1, em sua abordagem sobre desenvolvimento regenerativo: aquilo que deveríamos almejar em resposta à degradação acelerada a que o nosso planeta está sujeito. As cidades, como protagonistas nesse processo, são ecossistemas complexos e interdependentes, que necessitam do equilíbrio entre os elementos naturais e construídos, assim como da relação entre os aspectos bióticos e abióticos, e, por fim, dos fluxos de informação genética e tecnológica, para funcionar adequadamente.

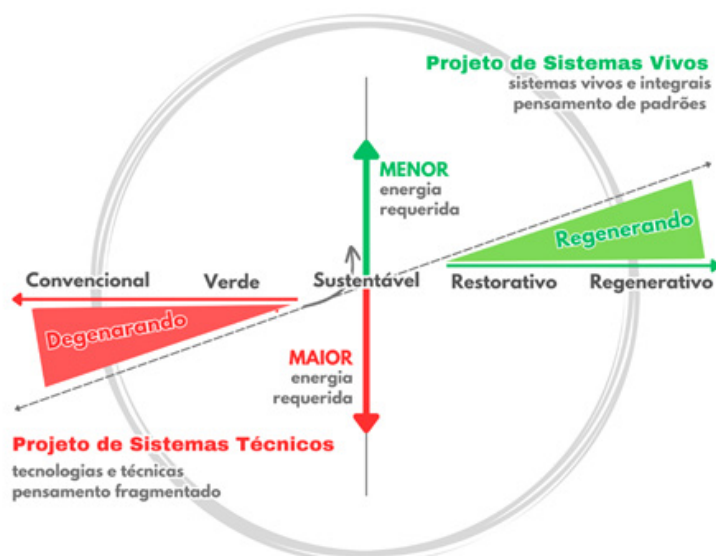


Figura 1: Esquema representativo do desenvolvimento regenerativo, avaliando o equilíbrio entre elementos naturais e construídos. Fonte: Baseado em Pamela Mang e Bill Reed (2012).

McHarg (1969) propôs uma metodologia de planejamento em que o território é analisado em camadas, a fim de compreender as diferentes interações e influências que moldam o espaço urbano. Diversos aspectos analisados são organizados em quatro camadas, destacadamente os aspectos político-sociais, geográficos e demográficos (i), que ajudam a contextualizar a área estudada e os aspectos geofísicos (ii), como hidrografia, relevo e uso do solo, que são analisados para identificar os processos naturais que afetam o território e como eles moldam o espaço urbano. A análise da morfologia urbana (iii), ou seja, a forma como a cidade foi construída e se desenvolveu ao longo do tempo, é essencial para compreender os diferentes graus de consolidação urbana e o comportamento do tecido urbano. Por fim, uma camada correspondente à dinâmica fluvial (iv), que é um elemento importante na interação entre a urbanização e os processos naturais da hidrografia. Essas camadas, que compõem a caracterização do território em análise, são sobrepostas e, suas diversas interações, investigadas de forma a subsidiar um amplo e profundo diagnóstico dos ambientes natural e construído. Na Figura 2 é apresentado um esquema simplificado de análise em camadas para ilustrar essa leitura do território e suas diversas inter-relações.

O conhecimento do território, facilitado por essa metodologia de análise em camadas, permite que o planejamento e a gestão das cidades sejam mais eficientes, uma vez que é possível compreender as relações de dependência entre os sistemas urbanos e naturais. Essa perspectiva se apresenta como uma forma mais inteligente de se pensar a cidade, ou seja, faz parte da construção de uma cidade inteligente, a Smart City.



Figura 2: Análise do território por camadas. Fonte: Adaptado de McHarg (1969).

O termo Smart City é, em certa medida, um conceito aberto. Geralmente se refere à ideia de cidades que usam tecnologia e dados para melhorar a qualidade de vida, a eficiência dos serviços urbanos e a sustentabilidade ambiental. Algumas definições enfatizam a tecnologia e a conectividade, enquanto outras podem destacar a participação cidadã e a inclusão social. Em geral, a ideia é que as Smart Cities buscam melhorar a vida urbana por meio de soluções inovadoras e integradas, envolvendo múltiplos setores e stakeholders da cidade. Mas é fato que a qualidade de vida humana e dos outros viventes precisa ser a prioridade.

A criação de espaços verdes, a preservação de áreas naturais, a promoção da biodiversidade e a redução da poluição e dos impactos ambientais são fundamentais para garantir a qualidade de vida das pessoas e a saúde do ecossistema urbano como um todo. Há evidências de que a existência de espaços urbanos verdes contribui inclusive para a melhoria da saúde mental e física, reduzindo a morbidade e a mortalidade de residentes urbanos (WHO, 2016). Nesse sentido, a consciência expandida desse cidadão para além dos problemas que encontra em seu quintal é crucial para o sucesso da cidade inteligente. O manejo das águas pluviais e a drenagem urbana têm papel fundamental na busca pela boa forma da cidade (LYNCH, 1981), contribuindo para um olhar sistêmico que presuppõe, por parte do cidadão, a atenção às inter-relações nas diversas escalas.

No contexto específico das águas, esse cidadão deve estar ciente da importância desse elemento como recurso fundamental para a vida, e estar disposto a adotar práticas de conservação e uso eficiente desse recurso. Ele também deve estar atento às soluções e tecnologias disponíveis para o manejo das águas pluviais, contribuindo para a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos da cidade. A água, como recurso positivo e valioso, deve ter garantida a sua diversidade de uso, contrapondo-se à abordagem tradicional monofuncional, que enxerga apenas a sua capacidade de transportar poluentes.

Transitar entre as escalas é uma ação crucial na análise de fenômenos hidrológicos e ambientais, pois permite entender a dinâmica dos processos em diferentes níveis de detalhe. Por exemplo, em um estudo de bacias hidrográficas é importante considerar as diferentes escalas envolvidas, desde a da microbacia, passando pela bacia principal até a da região hidrográfica. Cada escala apresenta particularidades que afetam a dinâmica hidrológica, como características do solo, uso e ocupação do solo, padrões de precipitação, entre outras. Assim, a consideração das diferentes escalas permite uma compreensão mais integrada e precisa dos processos hidrológicos e ambientais.

Ao analisar as bacias hidrográficas, é necessário considerar não apenas as características específicas de cada sub-bacia e curso d'água, mas também as interações e fluxos entre essas unidades. Isso permite entender melhor como os processos hidrológicos e ambientais são influenciados por fatores em diferentes escalas, como o clima, o relevo, a cobertura do solo, o uso da terra e as atividades humanas.

Por outro lado, alguns fenômenos podem ser mais bem compreendidos em uma escala menor, onde é possível observar detalhadamente as interações entre os elementos e os processos envolvidos. Por exemplo, ao estudar as condições de inundação em um determinado bairro ou área urbana, é necessário considerar as especificidades do local, como a topografia, o tipo de solo, o sistema de drenagem e as características construtivas das edificações.

Assim, a escolha da escala de abordagem depende dos objetivos da análise e da natureza do fenômeno em questão. Em alguns

casos, pode ser necessário adotar uma abordagem multiescalar, que permita integrar informações e conhecimentos obtidos em diferentes categorias para alcançar uma compreensão mais completa do fenômeno.

O estudo da microdrenagem requer um nível de abordagem menor, com observação detalhada e precisa das características do terreno e das infraestruturas de drenagem. Isso é importante para entender como a água se movimenta em uma escala local e identificar possíveis problemas e soluções específicas para cada região. Portanto, a escolha da abordagem correta é fundamental para que se obtenha um melhor entendimento de cada fenômeno hidrológico e, conseqüentemente, para a tomada de decisão mais eficiente e eficaz em relação à gestão da água.

A drenagem urbana inadequada pode gerar uma série de impactos negativos, destacadamente inundações, que podem acarretar: interrupção do tráfego, causando atrasos e problemas de locomoção para as pessoas; propagação de doenças por vetores como mosquitos e urina dos ratos, aumentando a possibilidade de dengue e de leptospirose, respectivamente; espalhamento de lixo, causando poluição e afetando a qualidade do meio ambiente e o próprio funcionamento do sistema de drenagem; erosão do solo, comprometendo a estabilidade de construções próximas a encostas e rios; poluição das águas dos rios, lagoas e mar, ao carregar contaminantes como óleos, produtos químicos e metais pesados; dentre outros. Além desses impactos diretos do evento de inundação, há ainda o potencial de efeitos em cascata, principalmente quando danificam as infraestruturas críticas (ICs), responsáveis por fornecer bens e serviços essenciais como energia, transportes e saneamento, danificando fisicamente as suas instalações e afetando a sua funcionalidade, e causando efeitos cascata em outros sistemas para além do seu impacto direto (BATTEMARCO, 2023).

Por exemplo, um alagamento que afeta o sistema de energia acaba por prejudicar a mobilidade urbana, ao interromper o funcionamento de sinais de trânsito e da iluminação pública, e também os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, quando interrompe o funcionamento de estações elevatórias. Esses efeitos em cascata evidenciam a interdependência dos sistemas urbanos e reforçam a importância da gestão adequada da drenagem urbana para garantir a saúde e a segurança da população, bem como a proteção do meio ambiente.

Como é possível observar no parágrafo anterior, a relação da sociedade com os corpos hídricos tem encadeamentos complexos e com implicações nos ambientes silvestre e construído. A percepção crescente de que a presença da natureza nas cidades é fundamental para a qualidade de vida da população é um dos pressupostos para uma forma de abordar o problema a partir da observação e da incorporação dos processos naturais, conhecida como Soluções Baseadas na Natureza (SBN).

Segundo a European Commission (2021), as SBN são soluções inspiradas e apoiadas pela natureza e que buscam simultaneamente benefícios

ambientais, sociais e econômicos, promovendo a resiliência. As SBN podem incluir a criação de parques e áreas verdes urbanas, a restauração de ecossistemas naturais, a proteção de áreas de recarga de aquíferos, a implementação de telhados verdes e de sistemas de drenagem sustentável, entre outras práticas. Elas buscam imitar ou restaurar os processos naturais de infiltração, armazenamento e purificação da água, contribuindo para a melhoria de sua qualidade e disponibilidade, bem como para a redução do risco de enchentes, tendo sempre como um de seus objetivos a preservação e a manutenção da biodiversidade.

O conceito geral de SBN pode ser considerado como um guarda-chuva para diversas abordagens de planejamento urbano e territorial (European Commission, 2021). Dentre elas estão as Infraestruturas Verde e Azul (IVA, ou GBI - Green-Blue Infrastructures - no original em inglês) e as Cidades Sensíveis à Água, desenhadas a partir do conceito de Projeto Urbano Sensível à Água (WSUD - Water Sensitive Urban Design - no original em inglês), ambas destacadas na ilustração apresentada na Figura 3:

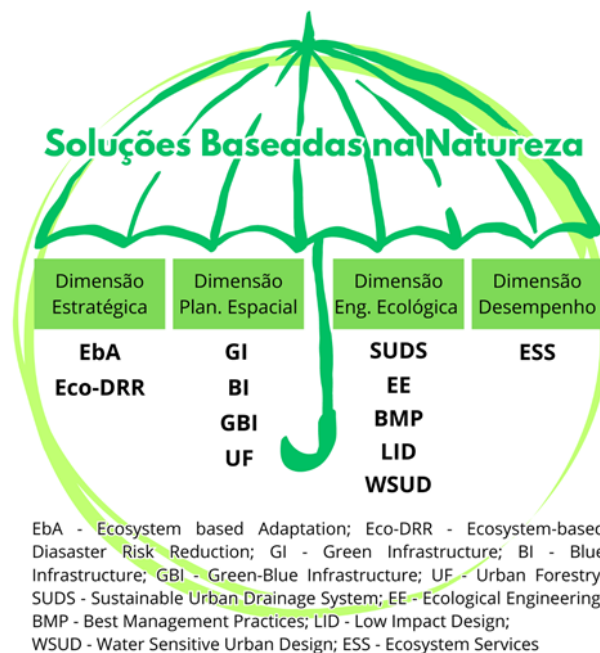


Figura 3: Soluções baseadas na natureza, segundo o conceito de guarda-chuva para abordagem das diversas questões relacionadas ao planejamento urbano e territorial. Fonte: Baseado em European Commission, 2021.

As IVAs vêm substituindo ou operando de forma consorciada com as infraestruturas tradicionais, também denominadas “infraestruturas cinzas”, pela predominância do uso de materiais sintéticos. São infraestruturas com conceitos e propósitos distintos, mas que podem e devem ser utilizadas como resposta a uma ampla gama de problemas com que invariavelmente nos defrontamos. A utilização dessas abordagens de forma combinada, dentro de um conceito de soluções híbridas (infraestrutura verde-cinza), foi apontada no sexto relatório do IPCC como a solução para a obtenção de uma maior eficiência em saneamento, prevenção de inundações, deslizamentos de terra e proteção costeira (CASTELLANOS et al., 2022).

As IVAs atuam tanto na escala territorial (bacia hidrográfica) quanto na escala local (cidade, bairros e ruas). Na escala territorial, a IVA é aplicada considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. A partir da identificação de zonas centrais de interesse ecológico (hubs) e áreas de interesse local (sites), a Infraestrutura Verde e Azul busca organizar o território a partir das conectividades entre essas zonas, utilizando a própria rede hidrográfica da bacia como estrutura de conexão (BENEDICT; MCMAHON, 2006). A Figura 4a apresenta uma ilustração esquemática dessa abordagem para estruturação do território, publicada por Benedict e McMahon (2006), enquanto a Figura 4b já mostra uma aplicação da abordagem a uma bacia hidrográfica localizada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que utiliza os corredores fluviais como conexões principais do sistema (links), proposta por Ottoni (2021).

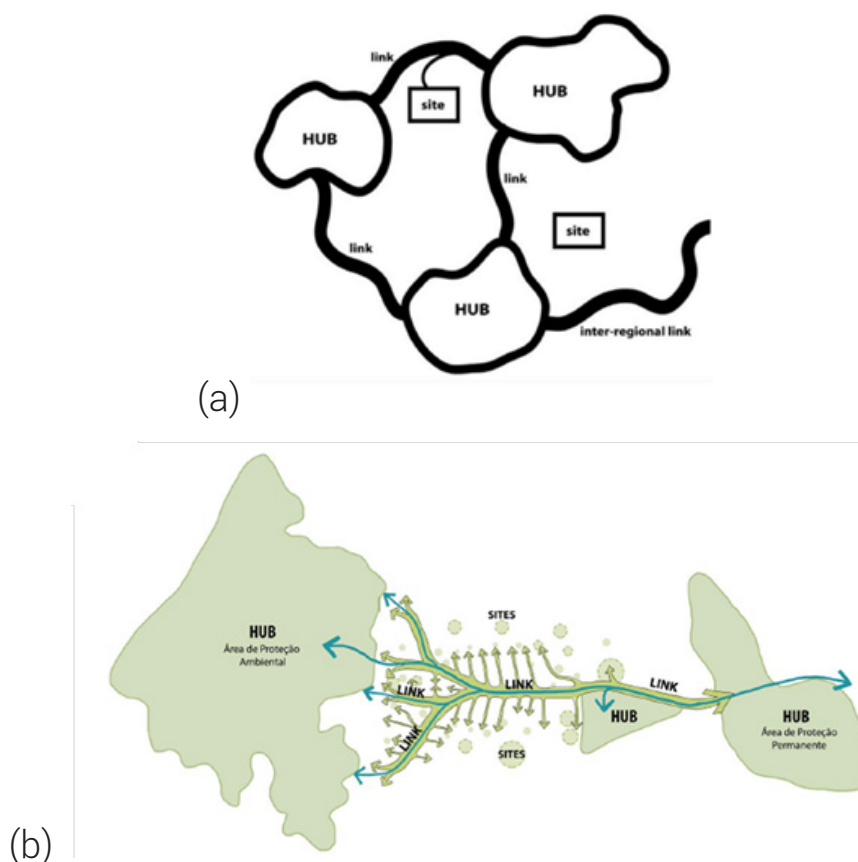


Figura 4: Esquemas de estruturação de uma infraestrutura verde-azul.
 Fonte: (a) BENEDICT; MCMAHON, 2006; (b) OTTONI, 2021.

Na escala local, a abordagem se volta para aplicações da engenharia ecológica, que atua em sintonia com aspectos conceituais do urbanismo, do paisagismo e da ecologia, promovendo melhores práticas de governança para o desenvolvimento sustentável das cidades, como o uso de jardins filtrantes, técnicas de infiltração e retenção das águas e a requalificação fluvial. Essas soluções ganham espaço no conceito de WSUD (Water Sensitive Urban Design), e envolvem a integração de elementos naturais, como áreas verdes e zonas úmidas, nas áreas urbanas para fornecer serviços ecossistêmicos, como a regulação de temperaturas locais, a purificação da água e a promoção da biodiversidade, respeitando o ciclo

hidrológico natural. O WSUD preconiza a construção de cidades em perfeita harmonia com o ciclo hídrico, em todas as suas parcelas, e pode ser definido como a “integração do planejamento urbano com a gestão, proteção e conservação do ciclo hidrológico, garantindo que a gestão da água urbana seja sensível aos processos hidrológicos e ecológicos naturais” (REZENDE, 2018). Os princípios-chave para um adequado projeto urbano sensível à água são (MELBOURNE WATER, 2004):

- Proteger os sistemas naturais: proteger e melhorar os sistemas hídricos naturais dentro dos empreendimentos urbanos;
- Integrar o tratamento da água de chuva na paisagem: utilização da água de chuva na paisagem, incorporando corredores de uso múltiplo para maximizar o valor visual e recreacional da região;
- Proteger a qualidade da água: aprimorar a qualidade da água de drenagem pluvial dos empreendimentos urbanos lançada no ambiente receptor;
- Reduzir o escoamento superficial e os picos de vazão: reduzir os picos de vazão das áreas urbanas utilizando medidas de retenção das águas pluviais e de redução de áreas impermeáveis;
- Agregar valor, minimizando os custos de desenvolvimento: reduzir os custos relativos à infraestrutura do sistema de drenagem dos empreendimentos.

De forma geral, a abordagem WSUD tenta integrar as ciências sociais e físicas em uma proposição de gerenciamento holístico para águas urbanas, considerando conjuntamente a oferta de água potável, os esgotos e a drenagem das águas pluviais, desde a escala do lote até a escala da bacia, envolvendo o desenho de edificações e da própria paisagem, alinhando medidas estruturais e não estruturais (MIGUEZ et al., 2016).

O uso da IVA e dos conceitos de WSUD para o planejamento das cidades valoriza o papel das áreas verdes e azuis como espaços de recreação, lazer e promoção da saúde, contribuindo para a qualidade de vida dos habitantes e da paisagem urbana. Essas práticas estão alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, proporcionando soluções sustentáveis e localmente adaptadas para o uso dos recursos naturais, a regulação climática e a promoção do bem-estar nas cidades.

A drenagem urbana sustentável: princípios, conceitos, critérios esg (ambiental, social e governança) e ods (objetivos de desenvolvimento sustentável)

Os projetos de drenagem urbana de viés higienista, apesar de apresentarem-se em um primeiro momento como “tecnicamente” corretos, tendem a perder rapidamente sua eficiência, pois não atendem ao alto crescimento da demanda urbana

por infraestrutura. Na medida em que a cidade se desenvolve, são necessários investimentos cada vez mais onerosos para permitir a continuação do funcionamento do sistema de drenagem.

Essa situação agrava-se pela não existência ou pelo não cumprimento dos planos de desenvolvimento urbano ou, ainda, pela falta de qualidade técnica dos planos já elaborados. Basicamente, as intervenções previstas nos projetos de drenagem urbana e controle das enchentes resumem-se a ações emergenciais, esporádicas e definidas apenas após a ocorrência dos desastres (POMPÊO, 2000), além de atuarem pontualmente.

Essa abordagem sobre os sistemas de drenagem, baseada na simples e rápida retirada da água das áreas impermeabilizadas, por meio de canalizações, apresenta-se insustentável e exige outra visão sobre o problema das inundações urbanas. O sistema de drenagem atual deve preferir a solução da simples retirada das águas pluviais não infiltradas, provindas do aumento da impermeabilização do solo resultante do processo de urbanização, com a maior eficiência possível, substituindo-a por medidas que objetivem mitigar os impactos da urbanização, através da facilitação dos processos de infiltração e retenção das águas, no intuito de regenerar as condições hidrológicas de pré-urbanização.

A partir do conceito de desenvolvimento sustentável definido no Relatório Brundtland (1986) – intitulado “Nosso futuro comum” –, como sendo o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades”, foram desenvolvidas novas abordagens no campo da drenagem urbana, como os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS – Sustainable Urban Drainage Systems, no original em inglês), que buscam não transferir, no tempo ou no espaço, os problemas das inundações resultantes dos impactos negativos da ocupação de áreas naturais sobre o ciclo hidrológico e a dinâmica das cheias. Projetos de SUDS buscam reduzir os escoamentos superficiais através de estruturas de controle da água pluvial em pequenas unidades. Dessa maneira, o controle dos escoamentos superficiais realizado na fonte diminui a necessidade de grandes estruturas de atenuação e de controle na calha dos rios.

Assim sendo, essa concepção de projetos de drenagem sustentáveis necessita de uma integração com os planos de desenvolvimento urbano, a gestão da ocupação e o uso do solo, bem como do uso de técnicas preservacionistas voltadas para o ambiente natural. Tal visão propicia uma melhor abrangência temporal e espacial dos projetos de gerenciamento de inundações, uma vez que busca intervir não na consequência das grandes chuvas, mas nas causas das grandes inundações. Estratégias de manejo das águas pluviais são necessárias em diferentes níveis de decisão, tais como as escalas política, regional ou local. Porém, em todas elas os tomadores de decisão devem estar conscientes das possibilidades consideradas, bem como das principais consequências de cada decisão (BARBOSA et al., 2012), tornando o processo inter e transdisciplinar.

A mudança para uma visão sustentável das soluções em drenagem urbana exige um compromisso com as consequências futuras das decisões tomadas no presente; portanto, as soluções devem ser flexíveis o bastante para permitirem possíveis modificações e adaptações no decorrer do desenvolvimento urbano (CANHOLI, 2005). A forte interdependência entre o uso do solo e a dinâmica das cheias exige uma articulação entre o planejamento da drenagem e o manejo das águas pluviais com o Plano Diretor Urbano, além dos demais planos setoriais, permitindo uma melhor projeção da ocupação e do uso do solo no futuro, e, assim, levando a projetos com um maior tempo de validade (REZENDE, 2013).

Sob essa ótica sustentável, os projetos de drenagem urbana em um contexto de manejo das águas pluviais, sempre que possível, devem neutralizar os efeitos negativos da urbanização, mantendo ou restabelecendo as condições hidrológicas da pré-urbanização, trazendo benefícios para a qualidade de vida e visando a preservação ambiental. Ao colocar como questão central de que forma a sociedade poderia criar um sistema de manejo sustentável de águas pluviais, que proteja não só a propriedade e a saúde humana, mas também almeje a preservação do funcionamento natural de ecossistemas aquáticos, Roy et al. (2008) sugerem três premissas fundamentais para que um sistema realmente sustentável seja atingido:

1. O manejo sustentável das águas pluviais mantém a estrutura e o funcionamento naturais dos corpos d'água receptores.
2. Já existem tecnologias capazes de mimetizar o ciclo natural da água e reduzir o transporte de poluentes para jusante através da rede de drenagem.
3. O manejo sustentável das águas pluviais deve ser planejado e implementado na escala da bacia, de forma integrada.

Nesse sentido, seguimos para a integração entre as diversas disciplinas que abordam a gestão das cidades, com foco na Engenharia Hidráulica e na Arquitetura e Urbanismo, agregando as ciências sociais e econômicas, biologia e outras. Essa integração, com atuação na bacia hidrográfica como unidade de referência, pode ser compreendida como:

A conjugação das ações no tecido urbano, tendo o controle de uso do solo urbano como pano de fundo, e no corredor fluvial, com foco no rio como síntese do território, combinam esforços no caminho de uma construção mais sustentável para o funcionamento das cidades. (MIGUEZ et al., 2016)

Seguindo essa tendência, que prioriza a sustentabilidade do ambiente urbano de forma holística, empreendimentos privados e a própria economia passam a buscar práticas que mostrem o seu compromisso com essa sustentabilidade, desenhando uma articulação entre a governança e a responsabilidade socioambiental. Dessa articulação surge o conceito ESG, que é a sigla para Environmental, Social and Governance, e que em português significa Ambiental, Social e Governança.

Esses três aspectos representam os critérios utilizados para avaliar o desempenho de uma empresa ou organização em relação à sustentabilidade e à responsabilidade social. O E de 'ambiental' refere-se às práticas e aos impactos ambientais de uma empresa, como gestão de resíduos, emissões de gases de efeito estufa, uso de recursos naturais e políticas de sustentabilidade. O S de 'social' aborda os aspectos relacionados às pessoas, como direitos trabalhistas, diversidade e inclusão, segurança e saúde ocupacional e engajamento comunitário. Já o G de 'governança' engloba a estrutura de liderança, transparência, ética e integridade da organização.

O ESG tem se tornado cada vez mais importante para investidores, clientes e reguladores, que buscam empresas e organizações comprometidas com a sustentabilidade e a responsabilidade social. O desempenho em ESG pode afetar a reputação e a percepção de valor de uma empresa, além de influenciar em suas decisões de investimento e regulamentação.

Ao adotar os conceitos ESG, a empresa ou a organização também está reduzindo riscos à segurança pessoal e patrimonial daqueles que são afetados por suas atividades, mitigando a chance de eventos negativos e economizando em custos com seguros e indenizações, além de atender às questões humanitárias, as mais relevantes neste contexto.

A gestão integrada dos recursos hídricos é uma abordagem que busca gerenciar a água considerando todo o seu ciclo, desde a captação até o descarte. Ela envolve a coordenação de diferentes setores e atores envolvidos na gestão da água, incluindo governos, empresas, organizações da sociedade civil e cidadãos.

Essa abordagem busca promover uma gestão mais eficiente e sustentável da água, levando em conta não apenas as demandas humanas, mas também as necessidades dos ecossistemas e a importância da água para a vida em geral. Isso pode incluir medidas como a conservação de áreas úmidas e florestas, a utilização de tecnologias de baixo impacto para o tratamento de esgoto e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis.

Controlar na fonte ou na quantidade de água que entra no sistema é uma estratégia importante para a gestão sustentável das águas urbanas. Isso significa tomar medidas para reduzir o volume de água que entra no sistema de drenagem urbana, como por exemplo a implementação de técnicas de conservação do solo e de práticas de gestão da água da chuva.

A gestão desses sistemas pelos governantes e concessionários, quando efetuada de forma adequada, pode promover a melhoria na qualidade de vida e reduzir as desigualdades sociais. A observação das escalas apropriadas e das quatro camadas relacionadas à gestão territorial aqui já citadas é a chave para esse processo de adequação, ressaltando que quando for negligenciado ou conduzido de forma equivocada, pode causar prejuízos à vida humana e aos bens patrimoniais.

Soluções inadequadas, em vez de mitigar ou sanar, também podem – através do efeito cascata já mencionado –, provocar impactos reversos nos demais sistemas urbanos, além de comprometer a eficiência do próprio sistema de drenagem. 'Planejamento Territorial com integração de sistemas' torna-se o mantra a ser repetido e, mais adiante, veremos que essa solução pode contar com o valioso auxílio das Geotecnologias.

Já os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) vêm cumprindo um importante papel de orientação no debate da comunidade internacional, uma vez que são inevitáveis os ruídos na relação entre diferentes culturas. Evidentemente, padecem de um olhar mais crítico, pois acabam utilizando termos que expressam os interesses e as visões de quem lidera esse debate, os países hegemônicos; mas isso está longe de ser um problema que desmereça os ODS.

O ODS 6 tem como objetivos garantir o acesso universal e equitativo à água potável e ao saneamento básico, além de melhorar a qualidade da água e promover o uso sustentável dos recursos hídricos. A gestão sustentável da água é essencial para atingir esses objetivos, incluindo a gestão da drenagem urbana para garantir a qualidade da água.

A promoção de cidades e comunidades sustentáveis preconizada pelo ODS 11 está diretamente relacionada à melhoria da qualidade de vida das pessoas, à redução das desigualdades sociais e à proteção do meio ambiente, condições atingíveis por meio de políticas e práticas de planejamento urbano, gestão de resíduos e uso eficiente dos recursos naturais.

Já o combate às alterações climáticas, preconizado pelo ODS 13, é uma questão central para o desenvolvimento sustentável, uma vez que essas mudanças podem afetar significativamente o meio ambiente, a economia e a sociedade. Nesse sentido, é importante adotar práticas de gestão de resíduos e de recursos hídricos que minimizem as emissões de gases de efeito estufa e a pegada de carbono, promovendo a sustentabilidade e a resiliência ambiental.

A aplicação das geotecnologias nos problemas e soluções para drenagem urbana sustentável

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) foram nas últimas três décadas responsáveis por uma grande revolução nas formas de governança e de exercício da cidadania. A internet das coisas (IoT - Internet of Things, no original em inglês) recentemente deslocou as atividades antes desenvolvidas exclusivamente em ambientes fixos, como escritórios e residências, para o campo da mobilidade e do dado em tempo real. Agora um dado pode ser capturado por dispositivos e sensores e, após analisado, retornar rapidamente ao usuário final na forma de informação, onde quer que ele esteja. Usuários também podem

interagir entre si, trocando informações por redes sociais ou privadas, e assim elaborando um infindável acervo de subsídios para a tomada de decisão.

Nesse novo horizonte de possibilidades, merecem atenção aqueles sistemas que lidam com camadas de informações que podem ser especializadas, particularmente conhecidos como Geotecnologias, dentre os quais destacamos o SIG (Sistema de Informações Geográficas). Esse sistema é basicamente composto por três módulos (Figura 5): Geovisualização, Geodatabase e Geoprocessamento (HARLOW, 2005). A Geovisualização é onde podem ser consultados os mapas, com suas camadas temáticas de informação e respectivas simbologias aplicadas. A Geodatabase é onde estão armazenados os dados, sendo sua forma mais estruturada e que incorpora metadados conhecida como IDE (Infraestrutura de Dados Espaciais). O Geoprocessamento é onde se realizam os fluxos e as análises de informações, utilizando métodos e técnicas como a geoestatística. Como será tratado mais adiante, a maioria dos usuários não vai além da Geovisualização, pois lhes falta capacitação ou recursos digitais (hardware e software) para avançar no potencial total dessa tecnologia.

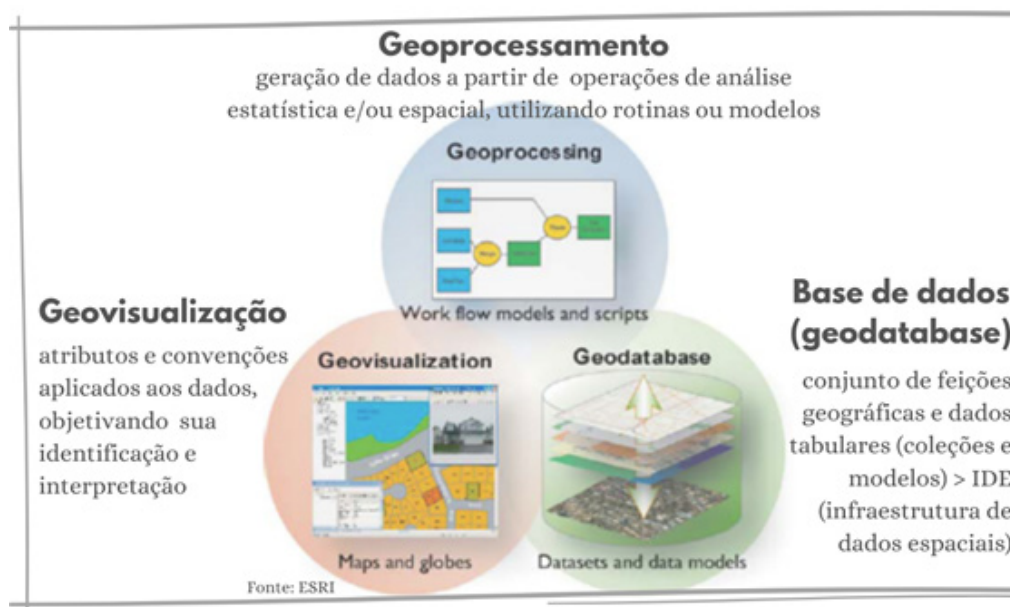


Figura 5: A estrutura de um SIG. Fonte: Harlow, 2005 (adaptado pelos autores).

Em 1967, o geógrafo Roger Tomlinson (1933-2014) criou o primeiro SIG computadorizado, o Canadian Geographical Information System, voltado para a gestão ambiental. Desde então, as Geotecnologias se desenvolveram de forma bastante acelerada, e já na virada deste século se tornava possível efetuar operações de geoprocessamento em computadores pessoais. O passo seguinte foi poder realizar toda a utilização e o processamento na nuvem, através dos Web-Servers e dos dispositivos móveis. Isso não só popularizou o emprego do SIG nas mais diversas áreas (segurança, infraestrutura, logística, mobilidade etc.), como passou a difundir as Geotecnologias como ferramentas úteis para monitoramento, controle e simulação dos espaços físicos e territoriais.

O SIG também oferece a possibilidade de servir de plataforma e, assim,

viabilizar interoperabilidade entre programas e aplicativos voltados para análises mais específicas. No caso do Manejo das Águas Pluviais e da Drenagem Urbana, pode ser citada como exemplo a modelagem hidráulica computacional. As ferramentas de Geotecnologias dão importante suporte ao desenvolvimento de modelos computacionais ágeis, versáteis e de fácil compreensão. Esse suporte permite uma melhor leitura do território, facilitando a sua interpretação e, assim, a sua representação computacional, que será utilizada para a modelagem matemática dos fenômenos físicos envolvidos na dinâmica das cheias.

Na outra ponta, após o processamento numérico para simulação computacional do evento de cheia, as Geotecnologias auxiliam na apresentação dos resultados, facilitando o entendimento das interações entre os escoamentos superficiais e o território. Dessa forma, a etapa de representação dos resultados poderá subsidiar o processo de divulgação e de tomada de decisão de possíveis cenários futuros, como intervenções estruturais para ordenamento dos escoamentos e mitigação das inundações, e também alterações no uso e cobertura do solo, que poderão impactar a dinâmica desses escoamentos, evitando assim a intensificação das inundações.

Um exemplo de aplicação dessa interação entre as ferramentas de geotecnologia e de modelagem computacional de cheias pode ser encontrado nos recentes avanços operacionais do Modelo de Células de Escoamento, o MODCEL (MIGUEZ, 2001; MASCARENHAS & MIGUEZ, 2002; Mascarenhas et al., 2005; MIGUEZ et al., 2011), desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O MODCEL é um modelo hidrodinâmico com módulo hidrológico acoplado, apropriado para a representação de sistemas hídricos complexos, especialmente os que se observam em áreas urbanas, onde podem ser encontradas diferentes leis hidráulicas representativas das interações entre os escoamentos superficiais, resultantes das chuvas intensas, e o território. Nele, a representação do espaço urbano se faz através de um conjunto de células, partindo do princípio de que uma bacia pode ser subdividida em um conjunto de compartimentos homogêneos interligados (células de escoamento), que representam as paisagens urbanas e naturais. A modelagem busca um arranjo tal que reproduza os padrões de escoamento dentro ou até mesmo fora da rede de drenagem, pois ao sair desta, o caminho da água pode ser qualquer um, ditado pelos padrões de urbanização.

O esquema de solução matemática dos fluxos de água utiliza uma formulação dita "quasi-bidimensional" (quasi-2D), que representa o espaço e suas interações bidimensionais, mas adota equações unidimensionais. Isso torna o modelo capaz de particularizar a representação de diferentes estruturas hidráulicas (canais, galerias, vertedouros, bueiros etc.) e morfológicas (planícies, encostas, elementos do sistema viário, ambiente construído etc.), formando uma rede multidirecional de escoamentos bidimensionais, caracterizada por ligações-tipo que definem uma topologia de relações unidimensionais de troca. Adicionalmente,

o MODCEL permite a representação dos escoamentos nas redes de condutos do sistema de drenagem, de forma interativa com a superfície, sendo, assim, denominado como um modelo em multicamadas. Ou seja, o MODCEL é um modelo hidrológico-hidrodinâmico quasi-2D em multicamadas.

No MODCEL, as Geotecnologias fornecem os dados de entrada básicos (inputs) relacionados à modelação topográfica e hidráulica da bacia. Nessa etapa, procura-se representar, no arranjo das células, a realidade física modelada, o que consiste na interpretação das informações dos mapas e da paisagem local, transformando-as em células e seus atributos. As células de escoamento produzidas são então associadas a um modelo matemático para a simulação de enchentes urbanas, onde a princípio são definidas as células individuais, que depois dão forma a uma grande malha de células agrupadas e interconectadas por leis hidráulicas específicas, responsável pela determinação dos padrões de escoamento que poderão ocorrer sobre a superfície e na rede de drenagem.

No conceito multicamadas, o escoamento consegue, portanto, ocorrer simultaneamente em duas camadas, uma superficial e outra subterrânea em galeria, sendo possível haver comunicação entre as células de superfície e de galeria. Nas galerias, o escoamento é considerado inicialmente à superfície livre, mas pode vir a sofrer afogamento, passando a ser considerado sob pressão.

O resultado da modelação de cheias urbanas através do MODCEL permite acompanhar toda a dinâmica das inundações, pois as saídas (outputs) da modelagem correlacionam fluxos, vazões e níveis de inundação ao longo do tempo para cada cenário simulado, em cada célula e em suas interações, permitindo sua comparação com a situação atual. Em um exemplo prático de aplicação, o MODCEL foi utilizado para simular cheias na bacia hidrográfica do rio dos Macacos, afluente à Lagoa Rodrigo de Freitas, zona sul da cidade do Rio de Janeiro (MIGUEZ et al., 2012). Nessa modelagem, foram simulados um cenário atual, que representa as condições existentes de ocupação e do sistema de drenagem, e cenários de projeto, que representam possíveis intervenções para um melhor ordenamento dos escoamentos superficiais, visando a mitigação das inundações nessa região. A Figura 6 traz a representação espacial dos resultados dessa modelagem, em termos de mancha de inundação (altura máxima de alagamento resultante de uma enchente).





Figura 6: Mancha de inundação para a (a) Situação atual e para o (b) cenário obtido com proposta de intervenções, com uso do MÓDCEL. Fonte: Miguez et al., 2012.

A contribuição das Geotecnologias para esses tipos de aplicação está justamente na vantagem de sua interoperabilidade com o SIG, facilitando a aquisição e a organização dos dados de entrada, a comparação e a análise dos dados de saída, e a disseminação dos resultados.

Adicionalmente ao uso para apoio aos sistemas de modelagem computacional de cheias, as Geotecnologias auxiliam na etapa de caracterização e diagnóstico do território, permitindo uma leitura mais eficiente das diversas camadas que compõem o ambiente natural-construído, como proposto por McHarg (1969) e apropriado aqui como metodologia de análise territorial para o manejo das águas pluviais. A ferramenta de Geotecnologia permite a sobreposição precisa dessas camadas, assim como o uso de diversas operações geoespaciais para o correlacionamento entre elas.

Dentro desse contexto dos problemas e soluções, cada vez mais se faz presente o emprego das Geotecnologias no ciclo que envolve a concepção, o projeto, a execução, a manutenção e a readequação de Sistemas Urbanos, dos quais foi destacado, neste capítulo, o Manejo das Águas Pluviais e a Drenagem Urbana. Importante abordar esse ciclo que, baseado no conceito de Engenharia de Projeto de Asimow (1962), podemos aqui chamar de “ciclo da vida útil de uma intervenção urbana”. Muitas vezes as Geotecnologias estão presentes apenas em algumas de suas etapas, e nem sempre contemplam todos os atores que deveriam estar envolvidos no processo. Integrando etapas e incluindo atores é que podemos aplicar, ao Manejo das Águas Pluviais e à Drenagem Urbana contemporânea, os conceitos de “inteligente” e “sustentável”. As Geotecnologias emergem, portanto, como facilitadoras de comunicação, mediadoras de conflitos e instrumentos de educação para a cidadania. O uso dessas ferramentas, sob esses aspectos, traz à tona duas importantes perguntas apresentadas pelo Estatuto da Cidade: qual é a cidade que temos e qual é a cidade que queremos ter?

No entanto, para que o emprego das Geotecnologias continue evoluindo no sentido de atingir estes pressupostos do Manejo das Águas Pluviais – inteligente e sustentável –, é necessário observar a dinâmica deste ciclo no que tange a

fatores como governança, cidadania, tecnologia e resiliência.

Pelo lado da governança, começamos pelas políticas públicas relacionadas ao saneamento, em especial as de drenagem urbana. Por apresentarem, na perspectiva das infraestruturas cinzas, em sua maioria obras e intervenções efetuadas abaixo do solo, não são visíveis ou perceptíveis no dia a dia, mas são reclamadas nos momentos em que a população e os bens patrimoniais são colocados em risco ou sofrem consequências graves. Mesmo assim, essas obras devem ser políticas de estado, e não de governo, pois a duração deste “ciclo de intervenção” consome tempo superior ao do mandato de um governante. Por outro lado, na perspectiva de “quem conhece, cuida” – de que devemos pensar em medidas biodiversas, baseadas na natureza –, as soluções de infraestrutura verde e azul trazem múltiplas vantagens, dentre elas a melhoria da governança. Assim, as ferramentas de geotecnologias vêm contribuindo para essa compreensão coletiva do território, de suas características físicas e de suas interações recíprocas com o meio urbano, ajudando no reconhecimento do espaço público como vital para a construção de cidades sustentáveis e resilientes.

Uma forma de driblar este óbice é a aprovação de marcos legais, onde são fixadas por lei metas de médio e longo prazo. A Lei nº 14.026/2020 (Novo Marco Legal do Saneamento Básico) normatiza as atividades das prestadoras de serviços de saneamento por meio de instrumentos relacionados à capacidade financeira, estabelecimento de parcerias público-privadas, universalização dos serviços, padrões de eficiência e qualidade, regularização tarifária e caducidade dos contratos.

Anterior a esse marco legal, a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, conhecida como “Estatuto da Cidade”, que regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, já havia estabelecido diretrizes gerais da política urbana em seu Art. 2º. § I:

*A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais: I – garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, **ao saneamento ambiental**, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações. (grifos nossos)*

Dando mais robustez à sua aplicação, vieram as leis municipais conhecidas como “Lei do Plano Diretor Estratégico” (PDE). No município de São Paulo foi aprovada a Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014, e esse PDE prevê o horizonte de até 2029 para que seus objetivos sejam alcançados, a saber: Função Social da Cidade e da Propriedade Urbana; Equidade e Inclusão Social e Territorial; Gestão Democrática; Direito à Cidade; Direito ao Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado.

Aliando a governança à tecnologia, surge uma nova modalidade de gestão

denominada Administração Municipal de Precisão (AMP), pautada pela transparência e eficiência. O Sistema de Informações Geográficas (SIG), aliado aos dispositivos de posicionamento global (GPS) e de Sensoriamento Remoto, abre um potencial enorme para que os gestores públicos possam explorar os recursos disponíveis para além da simples visualização e disseminação de dados. O entendimento dessa dinâmica espacial permite enriquecer os processos de tomada de decisão, atuar com maior acerto no planejamento e otimizar a aplicação do orçamento. No entanto, nem todos os municípios possuem os recursos técnicos, financeiros e humanos para implantar e gerir com sucesso o ambiente das Geotecnologias, e isso causa uma enorme assimetria na busca por esse novo paradigma da gestão pública. Grande parte dos gestores recorre, então, a empresas especializadas, o que gera custos adicionais e retarda o processo de capacitação de seu próprio pessoal.

Ainda dentro do contexto da AMP, ferramentas como o Cadastro Multifinalitário (LOCH; ERBA, 2007), apoiado em plataforma SIG, possibilitam não só a identificação e a resolução de conflitos, como uma maior integração entre os diversos gestores: antes dispersos em vários níveis e áreas de atuação, a partir da implantação desse cadastro passam a operar sobre uma base de dados unificada e consistente. Mesmo assim, sua consolidação enfrenta uma série de desafios, pois registros elaborados em épocas e instâncias diferentes apresentam discrepâncias que têm de ser arbitradas e equacionadas pelo poder público.

Outras vantagens do cadastro multifinalitário, uma vez que esteja consolidado e com seus metadados corretamente registrados, são:

- a busca estruturada na base de dados a partir de temas, autorias, escalas, formatos etc.;
- a identificação dos responsáveis pela produção do dado e pelo histórico de edições;
- a velocidade e efetividade na atualização e disseminação da informação.

O já citado Estatuto da Cidade preconiza que o Plano Diretor seja participativo e, nesse contexto, é importante promover a inclusão de atores como os cidadãos, as entidades representativas e as instituições e organizações estabelecidas no município. As Geotecnologias podem auxiliar nesse processo, pois a visualização de mapas digitais, com sobreposição de temas e vistas tridimensionais, (ex: maquetes elaboradas em impressoras 3D) auxilia a capacidade cognitiva dos participantes.

Promove-se então maior acessibilidade à informação e facilidade de interpretação, gerando uma nova dinâmica na discussão e na simulação de cenários possíveis. No que se refere à divulgação de informações acerca dos riscos de inundações, metodologias multicritério podem ser aplicadas e seus resultados

facilmente ilustrados em mapas com classes de risco, incluindo análises tanto das parcelas que compõem o perigo (altura de alagamento, extensão da inundação, velocidade de escoamentos e tempo de permanência dos alagamentos), como da vulnerabilidade do próprio sistema. Essa divulgação ajuda no entendimento sobre o que pode ser feito para evitar a intensificação dos riscos.

Na Figura 7 vemos o preparo para saída em uma impressora 3D da maquete do município de Maricá em oito módulos na escala 1:50.000, sendo visto no detalhe um dos módulos já impressos. O objetivo é que essa maquete seja montada em um plano vertical e, sobre ele, sejam projetados os mapas temáticos e cenários prováveis, a serem abordados nas audiências públicas previstas no Plano Diretor Participativo ou em qualquer outra discussão sobre intervenções territoriais. Pretendemos, assim, contribuir com mais uma opção para o exercício da cidadania e para a busca por ambientes urbanos biodiversos, já abordada nas páginas iniciais, e que agora relacionamos ao emprego dessas Geotecnologias.



Figura 7: Modelagem de maquete em impressora 3D para o município de Maricá. Fonte: Autores.

O acesso à Geovisualização tem sido cada vez mais facilitado para os cidadãos, permitindo que as pessoas – antes alheias a esse recurso por questões de renda, escolaridade ou capacitação técnica – possam agora “navegar” por modelos tridimensionais e nos quais possam identificar facilmente os locais onde vivem, trabalham ou exercem outras atividades, e os correlacionem com temas como risco de inundação, potencial de deslizamentos, uso do solo, mobilidade e logística emergencial.

É justamente nessa questão da logística emergencial, que relaciona a resiliência com as Geotecnologias, onde podem surgir mais inovações direcionadas à proteção e à melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. O primeiro passo consiste em elaborar uma Geodatabase, contendo os protocolos, as rotas e os locais onde a população consiga encontrar segurança e suporte durante um evento climático, no qual o sistema de drenagem não esteja dando a resposta esperada – seja por projetos incipientes, seja por eventos climáticos severos. A incorporação de bases de dados logísticos a aplicativos de emergência baseados em inteligência

é capaz de abreviar o tempo de resposta e, com isso, salvar e preservar vidas. Na outra ponta, profissionais e recursos podem ser antecipadamente mobilizados caso o cenário se apresente com agravamento. Já os cidadãos teriam como, mediante plataformas colaborativas, enviar imagens em tempo real de como o impacto das chuvas na drenagem está evoluindo em sua área de permanência. Esta interação colaborativa propicia ainda um expressivo aumento na aquisição de dados sobre ocorrência de eventos, auxiliando no aprendizado contínuo sobre o comportamento das cheias.

Nesse ponto, a integração de sistemas que operam com imagens de radares meteorológicos, dados em tempo real de estações meteorológicas (intensidade e direção dos ventos), pluviométricas e fluviométricas, pode indicar o nível de gravidade previsto para o evento climático severo. Na imagem da Figura 8 pode ser observada a tabulação de dados em 24 horas, por análise estatística (IDW), efetuada no software ArcGIS. Trata-se de uma chuva severa que paralisou parte do município do Rio de Janeiro em 09/04/2019. É interessante observar, neste cenário, como o relevo e a direção dominante dos ventos causou uma enorme assimetria na intensidade das chuvas, sendo elas muito mais severas ao sul dos Maciços da Tijuca e da Pedra Branca, reforçando assim a demanda por recursos que prevejam eventos em escala local.

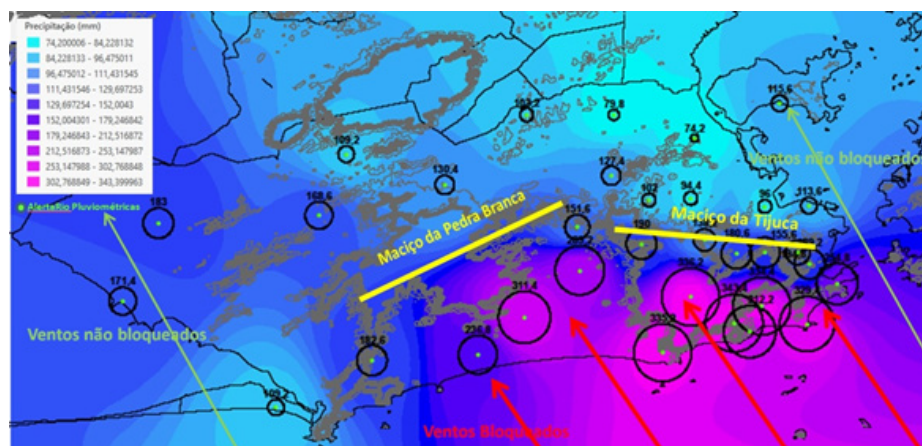


Figura 8: Dados pluviométricos e influência de ventos e relevo no município do Rio de Janeiro em evento de chuva severa ocorrido em 2019. Fonte: Autores.

Vislumbrando aqui uma possível aplicação para Smart Cities, a previsão mais acurada desse evento e de suas consequências para o sistema de drenagem local poderia ser obtida por uma análise inteligente de dados. Por exemplo, os dados de pluviometria e do radar meteorológico do Alerta Rio (escala do município) poderiam ser cruzados com os do CPTEC/INPE (escala regional) e de outras fontes de dados meteorológicos, para então serem cotejados com o histórico da evolução de outros eventos na mesma localidade, e as influências de sua topografia, hidrografia e ambiente construído. Respostas de modelos computacionais de cheia poderiam ser analisadas frente aos eventos previstos e/ou em andamento, de forma a se antecipar possíveis impactos sobre a cidade. É neste ponto que a inteligência artificial entra, trazendo o desafio

para aqueles que desejem explorar a interoperabilidade de sistemas, a integração de dados, a sincronia de escalas e a geração de algoritmos para aprendizagem de máquina, objetivando uma previsão mais acurada para a escala local.

As Geotecnologias estão em constante evolução, aumentando as possibilidades de utilização tanto para os desenvolvedores de aplicativos quanto para os usuários finais. A constante familiarização com a leitura de mapas digitais que já permeia a vida do cidadão, como em aplicativos de transporte e de orientação espacial, facilita a assimilação das informações espaciais e sua utilização na tomada das decisões cotidianas. São interfaces homem-dispositivo-sistema cada vez mais adequadas e amigáveis, ganhando a confiança e a aceitação do cidadão.

No entanto, contar com uma plataforma robusta de Geotecnologias, que permita que todas as utilidades previstas para a arquitetura de uma Smart City operem com segurança e eficiência, é uma premissa importante que deve ser observada como ponto de partida para qualquer proposta nesta direção. Por esse motivo, a maioria das organizações e empresas têm optado pelo uso de softwares licenciados. Estes têm um custo elevado de aquisição e de manutenção das licenças, mas seu desenvolvimento foca no ambiente corporativo e institucional, garantindo homogeneidade e consistência na gestão de multiusuários, nos dados armazenados e nas soluções geradas.

Embora as instituições de pesquisa e startups tenham capacidade de desenvolver produtos-piloto em seus laboratórios, incubadoras e escritórios técnicos, elas apresentam um campo de disseminação mais restrito por sua característica de produto em desenvolvimento. Nesse ponto, a atuação de agências de fomento e de inovação pode dar o apoio necessário para obtenção de financiamento e disseminação, e assim escalar o seu produto para fora do ambiente de P & D.

Softwares livres até correspondem bem na produção de mapas digitais e algumas análises espaciais e estatísticas, mas não atendem tanto aos requisitos de responsabilidade técnica sobre o produto, apoio on-line ao usuário, implantação dos avanços mais recentes no ambiente SIG e soluções mais customizadas de manutenção, integração e compartilhamento.

O aspecto da interoperabilidade e da uniformização de padrões de dados espaciais vai contribuir em muito para que a convivência entre software licenciado, produto tecnológico desenvolvido sob demanda e software livre continue a existir. No final, é o cidadão ganhando pela característica não excludente e interativa dessas diversas formas de aplicar a Geotecnologia, e coparticipando de um processo de evolução cada vez mais como personagem ativo, e menos como passivo.

Considerações finais: perspectivas e cenários para o impacto dos projetos de drenagem na Cidade Inteligente e Sustentável.

O manejo sustentável das águas urbanas é um tópico de grande importância para o planejamento urbano e territorial, visando minimizar os impactos negativos causados por enchentes e inundações, bem como promover a gestão eficiente dos recursos hídricos e a preservação do meio ambiente. Nesse contexto, a aplicação de Geotecnologias e a adoção de princípios ESG (ambiental, social e governança) com vistas ao atendimento dos ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) têm importância destacada para o desenvolvimento dos projetos de drenagem urbana sustentável.

A utilização de Geotecnologias, como sistemas de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto, modelagem hidrológica e hidráulica, entre outras, tem proporcionado uma abordagem mais precisa e integrada na gestão dos recursos hídricos e na tomada de decisões relacionadas à drenagem urbana, incorporando uma visão estratégica e multiescalar do espaço, além de propiciar a leitura detalhada de diversos aspectos que compõem o território.

Através dessas ferramentas, é possível obter dados atualizados e detalhados sobre as características das bacias hidrográficas, a topografia, a ocupação do solo, a infraestrutura de drenagem existente, entre outros, permitindo a identificação de áreas críticas, a análise de diferentes cenários e a definição de estratégias adequadas para a mitigação dos problemas de drenagem. A criação de cenários futuros, especialmente os mais adversos, permite a definição mais acertada dos caminhos a serem seguidos durante a implantação dos programas, ações e projetos propostos, ainda em sua fase de planejamento.

As Geotecnologias aplicadas a esse contexto – problema x solução – são também uma contribuição importante para o planejamento da logística emergencial. Essa logística não só permite abreviar o tempo de resposta a um evento de chuvas severas, como também possibilita a gestão de cenários específicos para as ações direcionadas à pronta intervenção, à preservação da vida e ao retorno à normalidade.

A adoção de princípios ESG e o compromisso com os ODS nos projetos de drenagem urbana sustentável contribuem para uma gestão mais responsável e integrada dos aspectos ambientais, sociais e de governança. A consideração de critérios ESG, como a minimização do impacto ambiental, a promoção da equidade social e a transparência na gestão, possibilita a implementação de ações mais sustentáveis e socialmente justas, resultando em benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a comunidade local. A integração dos ODS, estabelecidos pela Agenda 2030 da ONU, nos projetos de drenagem urbana sustentável, contribui para o alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentável, tais como a garantia da água limpa e saneamento, a redução das desigualdades, a promoção

de cidades sustentáveis e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

A promoção de Cidades Inteligentes, que se caracterizam pelo uso de tecnologia, inovação e sustentabilidade, pode colaborar para uma boa drenagem urbana sustentável, dentro de um contexto mais amplo de manejo das águas pluviais. A integração de sistemas de monitoramento e controle, a coleta de dados em tempo real e a participação da população podem contribuir para uma gestão mais eficiente, transparente e participativa nas decisões sobre a drenagem urbana.

É importante ressaltar que, para tal, são requeridas ações integradas, mobilização da população, capacitação de equipes técnicas, criação de instrumentos de gestão e monitoramento, e a integração com outras políticas públicas relacionadas, destacadamente, à biodiversidade e ao uso e ocupação do solo. É necessário também considerar aspectos socioambientais, como o exercício da cidadania, a conservação pelo uso das infraestruturas verdes e azuis com soluções baseadas na natureza, a preservação da biodiversidade, a proteção da qualidade da água e do solo e a promoção da justiça social.

Por fim, as abordagens mais novas sobre o planejamento e a gestão das águas pluviais, que consideram o sistema hídrico como um eixo estruturante do próprio planejamento urbano-territorial, potencializam-se com o apoio das geotecnologias, permitindo que uma leitura detalhada e diversificada do território seja realizada, o que resulta em um diagnóstico mais acurado do sistema interdependente construído-natural. Sob o conceito das Soluções Baseadas na Natureza, estruturando o território a partir de uma grande rede de Infraestrutura Verde e Azul e apoiando-se em uma urbanização sensível à água, por meio da aplicação dos conceitos de WSUD, relações mais harmônicas entre o ambiente natural e o construído podem ser alcançadas, direcionando o desenvolvimento de nossos sistemas antrópico-naturais para um futuro sustentável. A compreensão do comportamento da natureza e a incorporação de seus benefícios dentro do dia a dia das cidades é uma das componentes necessárias para a criação de uma cidade verdadeiramente inteligente.

Referências Bibliográficas

Alerta Rio https://www.google.com/url?q=http://alertario.rio.rj.gov.br/&sa=D&source=docs&ust=1682364261363221&usg=AOvVaw0y_IBWvFEMckBuc13-38-i

AMP <https://www.google.com/url?q=https://mundogeo.com/2013/02/15/gestao=-publica/&sa=D&source=docs&ust1682364261338723=&usg-AOvVaw38sKeBQSUO7PFVTg-jA-X-Y>

ASIMOV <https://www.google.com/url?q=https://www.amazon.com/Introduction-Design-M-Asimow/dp/B000H42VNI&sa=D&source=docs&ust=1682364261339882&usg=AOvVaw0vcqCz4mP0XfXowy60ZlQL>

BARBOSA, A.E., FERNANDES, J. N. e DAVID, L. M., 2012. Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Research*. In Press, Corrected Proof.

Battemarco, B. P., 2023. Quadro Metodológico para Avaliação da Resiliência de Infraestruturas Críticas a Inundações, Considerando Efeitos Cascata. Tese (doutorado), UFRJ/ COPPE - Programa de Engenharia Civil, 2023.

BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*. Washington D.C.: Island Press: [s.n.].

Brundtland Report (1986) «Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future» (PDF). Nações Unidas (em inglês). 1987. Consultado em 2 de fevereiro de 2021

CANHOLI, A. P. *Drenagem urbana e controle de inundação*. [s.l.] Oficina de Textos Publisher, São Paulo, Brazil, 2005.

CANHOLI, A.P., 2005. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. Oficina de Textos, São Paulo. 304 p.

Castellanos, E., M.F. Lemos, L. Astigarraga, N. Chacón, N. Cuvi, C. Huggel, L. Miranda, M. Moncassim Vale, J.P. Ometto, P.L. Peri, J.C. Postigo, L. Ramajo, L. Roco, and M. Rusticucci, 2022: Central and South America. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1689–1816, doi:10.1017/9781009325844.014.

CONEN. *Plano Municipal de Saneamento Básico de Maricá (PMSB)*. Maricá, 2015.

CONSÓRCIO QUANTA-LERNER. *Plano Estratégico De Desenvolvimento Urbano Integrado Da Região Metropolitana Do Rio De Janeiro (PEDUI) - Tomo I*, 2018.

EC. *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: final report of the Horizon 2020 expert group on "Nature-based solutions and re-naturing cities"*. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, 2015. Disponível em: <<https://data.europa.eu/doi/10.2777/763305>>

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, *Evaluating the impact of nature-based solutions: a handbook for practitioners*, Publications Office of the European Union, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/244577>

FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

FOLCH, Ramon. Los conceptos socioecológicos de partida. In: _____ (Coord.). El territorio como sistema: conceptos y herramientas de ordenación. Diputació de Barcelona, 2002.

FONT; LLOP; VILANOVA. La construcció del territori metropolità. Morfogènesi de la regió urbana de Barcelona, 1999.

GREATER SYDNEY LOCAL LAND SERVICES. Water Sensitive Urban Design – WSUD. Disponível em: <<https://roads-waterways.transport.nsw.gov.au/business-industry/partners-suppliers/documents/centre-for-urban-design/water-sensitive-urban-design-guideline.pdf>>.

HARLOW, M. ArcGIS Reference Documentation. ESRI: Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, 2005.

INPE https://www.google.com/url?q=http://satelite.cptec.inpe.br/soschuva-app/&sa=D&source=docs&ust=1682364261362687&usg=AOvVaw3zpu66i_x_fEMklcnnkja_

LYNCH, Kevin. A BOA FORMA DA CIDADE Lisboa: Edições 70, LDA, 1981.

KARNIB, A.; AL-HAJJAR, J.; BOISSIER, D. An expert system to evaluate the sensitivity of urban areas to the functioning failure of storm drainage networks. Urban Water, v. 4, p. 43–51, 2002.

KIRBY, A. SuDS – Innovation or a Tried and Tested Practice? Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Municipal Engineer, v. 158, n. 2, p. 115–122, 2005.

Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001.

Lei nº 14.026/2020 de 15 de julho de 2020.

Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014.

Loch, C. e Erba, D. A., 2007 https://www.google.com/url?q=https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/cadastro-tecnico-multifinalitario-rural-e-urbano-full.pdf&sa=D&source=docs&ust=1682364261341008&usg=AOvVaw0WvhubqNyGp4XTjarS_uaR

LYNCH, Kevin. A Boa Forma da Cidade. Lisboa: Edições 70, 1981.

MAGALHÃES, L.P.C.; MIGUEZ, M.G.; MASCARENHAS, F.C.B.; MAGALHÃES, P.C.; BASTOS, E.T. & COLONESE, B.L. 2005. Sistema Hidro-Flu para Apoio a Projetos de Drenagem. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, PB, Brasil. 1 CD-ROM.

MAGALHÃES, P. C. et al. Sistema HIDRO-FLU para apoio a Projetos de Drenagem. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa. Anais. 2005.

MANG, P.; REED, B. Regenerative Development and Design. *Encyclopedia Sustainability Science & Technology*, p. 8855 – 8879, 2012. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_303>

MASCARENHAS, F.C.B. & MIGUEZ, M.G. 2002. Urban Flood Control through a Mathematical Cell Model. *Water International*, 27: 208-218, <http://dx.doi.org/10.1080/02508060208686994>

MCHARG, I. L., *Design With Nature*. New York: Garden City, 1969.

MELBOURNE WATER, 2004, *Water-sensitive urban design*, in: *Essential Facts*, Victorian Government.

MIGUEZ, M. G. et al. Urban Flood Control, Simulation and Management - an Integrated Approach. *Intech open*, v. 2, p. 64, 2010.

MIGUEZ, M. G. et al. Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model. *Water (Switzerland)*, v. 9, n. 6, 2017.

MIGUEZ, M. G. Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas. Tese de DSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2001.

MIGUEZ, M. G.; DE MAGANHÃES, L. P. C. Urban Flood Control, Simulation and Management - an Integrated Approach. *Intech open*, v. 2, p. 131–160, 2010.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. *Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade*. 1a ed. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

MIGUEZ, M.G. 2001. Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 301p.

MIGUEZ, M.G., VERÓL, A.P., REZENDE, O.M., 2016, *Drenagem Urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade*. Elsevier Brasil.

MIGUEZ, M.G.; MASCARENHAS, F.C.B. & VERÓL, A.P. 2011. MODCEL: A Mathematical Model for Urban Flood Simulation and Integrated Flood Control Design. In: 4° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana. Venezia, VE, Itália. 1 CD-ROM.

MIGUEZ, M.G.; REZENDE, O. M. & VERÓL, A.P. Interações Entre o Rio dos Macacos e a Lagoa Rodrigo de Freitas sob a Ótica dos Problemas de Drenagem Urbana e Ações Integradas de Revitalização Ambiental. *Oecologia Australis*, 16(3): 615-650, Setembro, 2012. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2012.1603.16>

MIRANDA, F. M. Índice de Suscetibilidade do Meio Físico a Inundações como Ferramenta para o Planejamento Urbano. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Programa de Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado, 2016.

Ottoni, M.L.S.O., 2021, REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL URBANA: UMA PROPOSTA PARA A BACIA DO RIO RONCADOR – DUQUE DE CAXIAS - RJ. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem urbana sustentável. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

PREFEITURA DE MARICÁ. Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil - PLANCON. Jornal Oficial de Maricá (JOM) 245 - 06/12/2019, p. 16, dez. 2022.

REZENDE, O. M. Análise quantitativa da resiliência a inundações para o planejamento urbano: caso da bacia do canal do Mangue no Rio de Janeiro. [s.l.] Tese de DSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.

REZENDE, O.M., MIGUEZ, M.G., VERÓL, A.P., 2013, Manejo de águas urbanas e sua relação com o desenvolvimento urbano em bases sustentáveis integradas–Estudo de caso dos Rios Pilar-Calombé. Duque de Caxias/RJ. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, n. 2, p. 149-163.

ROY, A. H. et al. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States. Environmental Management, v. 42, n. 2, p. 344–359, 2008.

TARDIN, Raquel. Espaços livres: sistema e projeto territorial. Rio de Janeiro: 7Letras, 2008.

WOODS, B. et al. The SUDS manual (C697). [s.l.: s.n.].

World Health Organization. Regional Office for Europe. (2016). Urban green spaces and health. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345751>

CAPÍTULO 9

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumento de análise da qualidade ambiental urbana: Uma abordagem metodológica



Lindon Fonseca Matias

Bacharel em Geografia pela UNESP - Rio Claro (1990), mestre (1996) e doutor em Geografia Humana (2001) pela USP; Pós-doutorado (2018) na School of Geography and Planning da Cardiff University (Wales, UK); Livre Docente pela UNICAMP (2018); Estância Acadêmica (2022) no Departamento de Geografia da Facultad de Filosofía y Letras da Universidad Autónoma de Madrid (Madrid, Espanha). Professor Associado do Departamento de Geografia da UNICAMP. Coordena o grupo de pesquisa de Geotecnologias Aplicadas à Gestão do Território - GeoGet.



Abimael Cereda Junior

Geógrafo, Mestre e Doutor em Engenharia Urbana e Especialista em Geoprocessamento, vem atuando como Professor, Consultor e Palestrante na área de Inteligência Geográfica há mais de 20 anos, dedicando-se ao desenvolvimento e transferência de competências em Agricultura Digital, Cidades Inteligentes e Ensino. Sua experiência abrange empresas, universidades e outras Instituições – públicas e privadas - promovendo a integração de tecnologias e as chamadas Geotecnologias. Alavanca na Geografia das Coisas® a Transformação Digital Territorial por meio da Inteligência Geográfica no Brasil, América Latina, Europa e África.



Edilson de Souza Bias

Geógrafo, mestre em Geociências (UNESP – Rio Claro – 1998) e Doutor em Geografia (UNESP – Rio Claro – 2003) e Pós-Doutorado em Infraestrutura de Dados Espaciais pela Universidad Ort Uruguay. Atuou com gerente do projeto de implantação do GEOCEB, e como consultor da Diretoria Técnica da Cia Energética de Brasília, no acompanhamento e implantação da integração de todos os sistemas técnicos da empresa. Foi durante 8 anos professor do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Católica de Brasília. Atualmente é professor do Instituto de Geociências – IGD da Universidade de Brasília – UnB. Possui experiências nas áreas de Geociências, com ênfase em Geoprocessamento, Cartografia, Normalização de Dados, Infraestrutura de Dados Espaciais e Classificação de Imagens Baseada em Objetos.

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumento de análise da qualidade ambiental urbana: Uma abordagem metodológica

**Lindon Fonseca Matias
Abimael Cereda Junior
Edilson de Souza Bias**

INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma discussão de cunho teórico-conceitual sobre a temática da aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumento de subsídio aos estudos de análise da qualidade ambiental urbana, tendo como objetivo a proposição de uma metodologia para utilização de software SIG no mapeamento e análise da qualidade ambiental em áreas urbanas. Como procedimento metodológico, realiza uma breve revisão da literatura sobre o tema e discute as principais características socioambientais que subsidiam estudos para análise da qualidade ambiental em espaços urbanos.

A relevância do assunto decorre do fato de que a questão ambiental assumiu, também, nos ambientes urbanos, uma importância fundamental para o alcance da melhoria da qualidade de vida da população, principalmente em razão do crescimento desordenado que se observa em todos os países do mundo. Neste sentido, acredita-se que a ciência geográfica pode contribuir de forma significativa no estudo dessa temática, uma vez que possui instrumentos teóricos e metodológicos capazes de contribuir para uma compreensão mais integrada sobre o tema, assim como na proposição de soluções que visem minimizar os problemas socioambientais vivenciados no espaço urbano. Para isso, a ciência geográfica conta com auxílio das geotecnologias, como também são conhecidas as técnicas de aquisição e processamento de dados para representação e análise do espaço geográfico, na busca de uma melhor compreensão e intervenção no espaço da sociedade no presente momento histórico.

A cidade e seus espaços internos devem ser observados e analisados de acordo com as suas permanentes transformações, sejam as deteriorações, revitalizações e refuncionalizações, expressando os valores adotados pela sociedade e refletindo os símbolos e valores adotados pela própria sociedade, constituindo a sua identidade. Para tal, as tecnologias, algoritmos e funcionalidades do chamado Geoprocessamento se confirmaram eficazes ao longo das últimas décadas, como suporte para realização de análises geoespaciais que impactaram diretamente a Sociedade para além da Academia, devido a, sobretudo,

permitirem o trabalho com dados geograficamente referenciados e representações do espaço num ambiente computacional integrado, incluindo, nos tempos atuais, ambientes distribuídos (nuvem). Assim, o emprego das geotecnologias no estudo da qualidade ambiental urbana se faz de fundamental importância, uma vez que nos permite trabalhar com diversos tipos e fontes de dados na elaboração de diferentes análises e representações por meio de mapas temáticos das diferentes variáveis que envolvem o tema.

O texto deste capítulo está organizado da seguinte forma: num primeiro momento, faz-se uma discussão dos pressupostos teórico-metodológicos que envolvem a compreensão do espaço urbano na contemporaneidade a partir da visão geográfica; depois são abordadas algumas metodologias propostas para análise da qualidade ambiental no espaço urbano, suas contribuições e limitações; e, a seguir, realiza-se a proposição de uma metodologia para mapeamento e análise da qualidade ambiental urbana com base no uso de software SIG, sem contudo, descrever um programa computacional específico, pois, na verdade o software deve ser visto como um instrumento que se enquadra na necessidade e possibilidades dos usuários, o que nos leva a afirmar que não existe um software melhor que o outro, e sim necessidades diferentes.

PRESSUPOSTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

O espaço urbano é por excelência o local onde as atividades humanas se encontram melhor representadas. É o espaço primordial da produção, da circulação e do consumo, não só dos bens materiais da sociedade, como também das ideias (CARLOS, 1997a). Isso decorre, fundamentalmente, do fato de que nele se concentram os maiores contingentes populacionais e também onde as relações sociais de produção são mais bem estabelecidas e estruturadas (CORRÊA, 1995; LEFEBVRE, 2001).

O processo de reprodução do espaço urbano faz surgir, portanto, uma correspondente organização espacial da cidade que, por sua vez, não ocorre de maneira uniforme no tempo e no espaço (SPÓSITO, 1989). Ao contrário, tal processo corresponde à forma como a sociedade [re]produz historicamente as suas condições de existência, entendidas no seu sentido mais amplo e não somente econômico (CARLOS, 1997b; SINGER, 1998).

O processo de reprodução do espaço urbano, materializado nas formas e relações sociais vigentes numa determinada cidade, está relacionado ao desenvolvimento do modo de produção capitalista em âmbito mais geral (SANTOS, 1996a). Assim, para se compreender a questão da qualidade ambiental no espaço urbano, faz-se necessário entender como se dá a territorialização desse modo de produção e de suas relações sociais de produção. Tal processo se concretiza, em suas manifestações espaciais, nas diversas atividades (habitação, comércio, circulação, lazer etc.) e suas inter-relações no ambiente urbano.

Considerando que o meio natural e o meio social são faces de uma mesma moeda (MARTINS JÚNIOR, 1990), entende-se que a cidade representa o palco e o cenário favorável para um enredo que deve ser sustentável e equilibrado. O entendimento da qualidade ambiental no espaço urbano, portanto, implica conhecer os processos de como a sociedade transforma a natureza, aqui entendida como natureza socializada ou segunda natureza (SANTOS, 1996b; RODRIGUES, 1998; GONÇALVES, 2005), por meio do processo de trabalho, e como ocorre a apropriação desigual e combinada desse espaço pelas diferentes classes e grupos sociais (GOMES, 1991; MORAES, 1994), segundo diferentes estratégias de disputa socio-territorial (SOUZA, 2002; HAESBAERT, 2006).

Quando se trata de qualidade ambiental, todavia, não existe um conceito consagrado e aceito consensualmente, visto que diferentes definições são usadas, refletindo, em sua grande maioria, a diversidade de estudos e de abordagens existentes. Na atualidade, o tema faz parte da preocupação de profissionais oriundos de diferentes áreas do conhecimento (Geografia, Arquitetura, Ecologia, Economia, dentre outras). O conceito de qualidade ambiental é cada vez mais utilizado, embora isso não signifique que o seja de forma adequada, ou mesmo, que já tenha alcançado pleno desenvolvimento teórico.

Sobre isso, Guimarães (1984, p. 32) propôs que “[a] ausência de uma conceituação amplamente aceita a respeito não deve, por conseguinte, impedir a sua utilização, explorando-se ao máximo suas diferentes dimensões”. Já a Organização Mundial da Saúde (OMS) define qualidade ambiental em um sentido amplo como “[...] um estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não a simples ausência de doença ou enfermidade” (SOUZA, 1984, p. 12). Luengo (1998, [s/p]) pondera que se deve entendê-la como “[...] as condições ótimas que regem o comportamento do espaço habitável em termos de conforto associado ao ecológico, biológico, econômico-produtivo, sociocultural, tipológico, tecnológico e estético em suas dimensões espaciais.” Bem como, a qualidade ambiental urbana, por decorrência, é “[...] produto da interação destas variáveis para a conformação de um habitat saudável, confortável e capaz de satisfazer as necessidades básicas de sustentabilidade da vida humana individual e em interação social dentro do meio urbano” (LUENGO, 1998, [s/p]).

No Brasil, algumas cidades, especialmente de médio e grande porte, vêm registrando um rápido crescimento que, na maioria das vezes, não se faz acompanhado de um processo de planejamento e gestão urbanas adequadas e que priorizem a conservação da qualidade ambiental. As consequências disso, vivenciadas cada vez mais por um grande contingente de habitantes, revelam-se na crescente degradação do ambiente urbano, o que acaba gerando e agravando os problemas socioambientais, como o processo de favelização, a ocupação irregular de encostas e fundos de vales, a poluição do ar e dos corpos d'água, sendo a partir desse cenário que se deve buscar compreender a importância que assume a preocupação com a qualidade ambiental urbana, vista como elemento fundamental para

o alcance da melhoria da qualidade de vida nas cidades (SPOSATI, 2000; CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

A determinação dos processos ou elementos que caracterizam a qualidade ambiental urbana vem sendo debatida na bibliografia especializada. Silva (2002) salienta que a qualidade ambiental urbana é o predicado do meio urbano que garante a vida dos cidadãos dentro de padrões de qualidade, tanto nos aspectos biológicos (saneamento urbano, qualidade do ar, conforto ambiental, condições habitacionais etc.), como nos aspectos socioculturais (preservação do patrimônio cultural e natural, recreação, educação etc.). Henke-Oliveira, Santos e Toppa (2004), chamam a atenção ao fato que a qualidade ambiental deve ser contextualizada no âmbito mais amplo da qualidade de vida, segundo cinco critérios: impacto fisiológico, impacto psicossociológico, desenvolvimento cultural e participação do indivíduo na comunidade, condicionamento psicossocial, e dependência ecológico-ambiental.

Quando se trata da realização de estudos para espacialização da qualidade ambiental urbana, ainda existe um longo caminho a ser percorrido. Tal preocupação já foi manifestada por Nucci (2001) que, ao retomar ideias do geógrafo Carlos Augusto Figueiredo Monteiro, salienta que “[e]xecutar um trabalho de espacialização da qualidade ambiental constitui um verdadeiro desafio, visto que não existe uma receita técnica calcada numa concepção teórico-metodológica pronta” (NUCCI, 2001, p. 12).

Com relação a espacialidade, Corrêa (1997) afirma que o conceito vai além da simples distribuição dos objetos sobre as diferentes superfícies do ambiente, possuindo um caráter valorativo numa espacialidade duplamente diferencial. Nas suas palavras:

A espacialidade diferencial implica que se considere o meio ambiente, de um lado, como reflexo social e, de outro, como condicionante social, isto é, reflete os processos e as características da sociedade que os criou e que ali vive, como impacta sobre seu futuro imediato. Por outro lado, a espacialidade está sujeita a um dinamismo fornecido pelo movimento da sociedade, mas é parcialmente minimizado pela força da inércia dos objetos materiais socialmente produzidos: o meio ambiente é mutável sem que as formas espaciais existentes tenham mudado substancialmente. E por tratar de uma espacialidade situada no bojo de uma sociedade de classes, desigual, a espacialidade implica desigualdades, refletindo e condicionando a sociedade de classes, e tendendo à reprodução das desigualdades. (CORRÊA, 1997, p. 156)

Assim, concebe-se na relação entre a sociedade e o meio natural um processo de transformação dialética, onde a sociedade impõe mudanças aos elementos naturais e é, ao mesmo tempo, por eles condicionada; contudo, o ritmo imposto pela sociedade, quase sempre, é mais célere que o da natureza, o que resulta na produção de espaços desiguais refletindo a sociedade de classes do sistema capitalista no qual se vive, onde as desigualdades sociais também são expressas na forma como o espaço geográfico é produzido. O processo de produção desigual e combinada do espaço urbano não ocorre ao acaso, pois as leis de zoneamento, em geral, são uma legitimação para a ocupação diferenciada, constituindo um espaço

de disputas políticas entre os diferentes agentes produtores do espaço urbano (CORRÊA, 1995; CARLOS; SOUZA; SPOSITO, 2012), ao exemplo das ações empreendidas pelo poder público, proprietários fundiários, promotores imobiliários, trabalhadores etc. Tais disputas sociopolíticas, segundo Souza (2002, p. 83), devem ser “[...] entendidas à luz de uma teia de relações em que a existência de conflitos de interesse e de ganhadores e perdedores, dominantes e dominados, é um ingrediente sempre presente” e, dessa forma, justificam o planejamento e gestão urbanas não poderem ser considerados num contexto de neutralidade técnica.

Sendo assim, percebe-se que a representação da espacialidade mostra uma realidade com diversas facetas e que a qualidade ambiental é resultante tanto das relações entre os diferentes grupos sociais entre si, como deles para com o substrato material da sociedade (hidrografia, relevo, geologia etc.) num determinado momento histórico. Portanto, não se trata de algo uniforme que ocorre de uma mesma maneira por todo e em todos os espaços urbanos, mas sim, com características específicas em cada área da cidade, possuindo, além de variáveis físico-territoriais, também um valor simbólico e material para cada cidadão, segundo o arranjo socioespacial dos seus elementos constitutivos naquele fragmento do espaço geográfico. Diante disso, constata-se a dificuldade da questão metodológica para estabelecer de forma peremptória uma qualidade ambiental urbana, ainda que embasada em levantamentos e análises científicas, já que em última instância pode-se admitir a existência de um determinado padrão de qualidade ambiental para cada cidadão e para cada localidade, pois as relações de disputas sociais não são as mesmas em todos os locais, devido aos diferentes valores materiais e simbólicos, sem mencionar, também, que os ambientes materiais e imateriais, vislumbrados numa área urbana, e sua população são diversos.

Todavia, os mesmos processos reconhecidos pelas ciências da natureza ocorrem nos assentamentos urbanos, de forma muito mais acelerada e crítica. É nesse cenário que uma nova visão deve ser adotada, no qual a dimensão ambiental é compreendida pela inter-relação e interdependência entre os elementos e processos do ambiente, de modo que mudanças em um deles resultem em alterações em outros componentes (CEREDA JUNIOR, 2006).

Acselrad (2004) nos alerta sobre a articulação entre degradação ambiental e injustiça social, segundo o qual existe uma lógica política a orientar a distribuição desigual dos danos ambientais, de modo que os grupos sociais menos favorecidos fiquem mais expostos aos riscos ambientais e sofram a incumbência mais direta de enfrentar a degradação do ambiente natural. Ou seja, ao avaliar a qualidade ambiental deve-se estar atento à utilização de uma concepção teórico-metodológica que contemple igualmente os aspectos naturais e sociais do ambiente, dentro de uma visão de totalidade, onde o ser humano é parte indissociável e não um mero agente externo (MENDONÇA, 2004; SUERTEGARAY, 2004).

Desta forma, o meio ambiente não deve ser entendido como componentes

estanques que podem ser integrados pela simples soma das variáveis: a visão de inventário deve ser superada, uma vez que a caracterização e levantamento de dados imutáveis não condizem com a realidade dinâmica e integrada que se materializa no espaço; a cidade, meio ambiente construído e idealizado para suprir diversas necessidades sociais, possui particularidades que a diferenciam do meio natural original (CEREDA JUNIOR, 2006).

Em suma, compreende-se que a qualidade ambiental urbana faz parte de um conceito mais amplo que é o de qualidade de vida, visto que “[...] qualidade de vida como conceito mais amplo, possui, como parte integrante de seu arcabouço de análise a variável ambiental para indicar a qualidade do ambiente humano” (MARTINELLI, 2004, p. 25).

DESAFIOS PARA A MENSURAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL URBANA

Uma maneira de se buscar mensurar a qualidade ambiental urbana é por meio da utilização de indicadores ambientais que visam auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas ligadas aos diversos setores da sociedade. Para Santos (2004, p. 60), indicadores ambientais são:

parâmetros, ou funções derivadas deles, que têm a capacidade de descrever um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem em um meio [...] são fundamentais para tomadores de decisão e para a sociedade, pois permitem tanto criar cenários sobre o estado do meio, quanto aferir ou acompanhar os resultados de uma decisão tomada.

No contexto da busca da qualidade ambiental, os processos de planejamento se posicionam como estratégicos e essencialmente necessários, conforme observa-se nas colocações de Santos (2004):

De uma forma bastante simples, entende-se que o processo de planejamento é um meio sistemático de determinar o estágio em que você está, onde deseja chegar e qual o melhor caminho para chegar lá. (p. 23)

[...] planejamento é um processo contínuo que envolve a coleta, organização e análise sistematizadas das informações, por meio de procedimentos e métodos, para chegar a decisões ou a escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis. (p. 24)

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) se subdividem em 17 objetivos com 169 metas que podem ser medidas por meio de 230 indicadores e têm como objetivo proteger o planeta e assegurar a qualidade de vida, abrangendo três dimensões – econômica, social e ambiental.

Em relação ao número de indicadores que devem ser utilizados para a avaliação da qualidade ambiental urbana não há um consenso, entretanto, se esses forem bem selecionados haverá uma maior agilidade e eficiência na tomada de decisão, “[...] simplificando o manejo do banco de dados e a apresentação das informações, sem prejuízo para a qualidade da interpretação” (SANTOS, 2004, p. 61).

Além dos indicadores, a serem transformados em índices, segundo certos postulados, existem outras estratégias que são aplicadas na avaliação de impactos ambientais e que, mediante as devidas adaptações, podem ser empregadas na elaboração de diagnósticos da qualidade ambiental urbana – procedimentos detalhados por Santos (2004, p. 114): “[...] inquirição, listagem, análise espacial, redes, árvores de decisão e sistemas modelados e de simulação”. Nessas estratégias, observa-se tanto aspectos positivos como negativos, não havendo uma solução que atenda amplamente todas as necessidades. Assim, cada pesquisador deverá estar consciente dos limites que cada técnica impõe que, por outro lado, quando administradas de forma correta, podem resultar em importante contribuição para auxiliar na tomada de decisões.

Dentre algumas metodologias conhecidas e que se dispuseram, de alguma forma, a mensurar a qualidade ambiental urbana, apresentar-se-á a seguir três exemplos significativos dos tipos de estudos realizados. Os trabalhos foram escolhidos em função das suas características na busca por uma síntese na representação da qualidade ambiental urbana: seja na forma de uma representação cartográfica ou gráfico-estatística; no fato de trabalharem com diversas variáveis sobre o espaço urbano, representativas de condicionantes naturais ou sociais; na possibilidade de espacialização das variáveis trabalhadas em mapas temáticos e, também, a possibilidade de aplicação no estudo de outras áreas urbanas, uma vez que tratam de dados obtidos com certa facilidade e dentro de procedimentos técnicos difundidos cientificamente.

O trabalho proposto por Nucci (1998) é um estudo de ecologia e planejamento da paisagem que visou analisar a qualidade ambiental resultante do adensamento urbano ocorrido no distrito de Santa Cecília, na cidade de São Paulo. Para isso, foram considerados os atributos ambientais diagnosticados e espacializados de forma integrada e em escala espacial local (1:10.000). Segundo Nucci (1998, p. 209-210), a proposta seria “[...] uma forma de diagnosticar [...] a capacidade que o ambiente tem para acolher os diferentes usos do solo de acordo com a qualidade ambiental que apresenta”. Nessa metodologia, o objetivo norteador é agrupar dados possíveis de serem representados cartograficamente, através da elaboração de um mapa síntese, e em seguida fazer uma análise sistêmica para a elaboração de um diagnóstico ambiental espacializado. Cabe lembrar que o mapa síntese, no entendimento de Martinelli (1991, p. 162):

não contém nem a superposição nem a justaposição, e sim a fusão deles em tipos – unidades taxonômicas. Isso significa que [...] deveremos identificar agrupamentos de lugares caracterizados por agrupamentos de atributos ou variáveis [...] trata-se de obter agrupamentos de unidades espaciais em função de vários critérios e mapear os resultados obtidos evidenciando os agrupamentos de lugares.

A unidade geográfica de análise adotada no trabalho foi o lote, por considerar que a cidade é consequência da utilização que cada indivíduo faz de seu lote. Para obtenção do mapa síntese, Nucci (1998) trabalhou com os seguintes temas: uso

do solo, poluição (definida a partir dos diferentes usos da terra urbana), densidade populacional, distribuição da infraestrutura urbana, verticalidade das edificações, pontos de enchentes, déficit de espaços livres públicos e desertos florísticos. Para a análise da distribuição dos atributos apresentados, a superposição deles se deu em etapas, ou seja, sobrepondo-se dois mapas de cada vez. Tal procedimento se repetiu até a síntese final na forma de uma Carta de Qualidade Ambiental Urbana. Na elaboração dessa carta síntese não houve a intenção de aplicar valores quantitativos aos atributos, portanto, a carta de qualidade ambiental apresenta uma valoração qualitativa que deve ser analisada de forma relativa na qual a área que apresenta todos os atributos considerados negativos, comparativamente, tem uma pior qualidade ambiental em relação às áreas que apresentam menor quantidade desses atributos e assim por diante (NUCCI, 2001).

Os aspectos negativos identificados nessa metodologia se referem, primeiro, ao fato do autor não atribuir “pesos” diferenciados aos temas utilizados para a realização da carta síntese, tratando-os como semelhantes no que tange a sua contribuição para a definição de um determinado parâmetro de qualidade ambiental, o que constitui um aspecto limitador por se entender que, por exemplo, o fato de um local não possuir vegetação não significa, necessariamente, que ele apresente o mesmo grau negativo de qualidade ambiental quanto ao da poluição causada por uma indústria que lança dejetos num determinado curso d'água; assim como também, por considerar-se insuficientes os temas levados em conta na avaliação da qualidade ambiental urbana e, acrescente-se, pelo trabalho não correlacionar a distribuição desigual desses atributos com a divisão desigual de riquezas no espaço urbano, característica marcante da sociedade capitalista (SPÓSITO, 1989) e que, conforme nos alerta Rodrigues (1998), não deve ser descuidada em estudos desse tipo. Dentre os aspectos positivos, deve-se destacar a preocupação com a construção de mapas temáticos visando à representação espacial dos diversos temas que vão determinar a qualidade ambiental urbana, o que representa uma forma efetiva de estudo do espaço urbano através da linguagem da representação gráfica.

A metodologia apresentada por Garcias (2001) está fundamentada no uso de indicadores de qualidade ambiental urbana estruturados de forma que seus índices possam mensurar o desempenho ambiental, entendido como o resultado entre os recursos financeiros obtidos e consequentes perdas ambientais, pois “[...] o desempenho que interessa, do ponto de vista ambiental é aquele que maximiza os resultados financeiros obtidos ao mesmo tempo em que minimiza as perdas ambientais” (GARCIAS, 2001, p. 277). Os indicadores escolhidos são transformados em índices, sendo a variação dessas grandezas aferida em estudos aplicados para caracterizar grandezas significativas e seus graus de significância. Na mensuração do desempenho, o autor sugere que um determinado serviço urbano seja estabelecido por meio da seguinte fórmula: o numerador deve ser a quantidade executada do serviço e o denominador o montante do serviço a ser executado, com

o resultado multiplicado por 100 para representar o percentual do serviço executado (GARCÍAS, 2001).

Entre os indicadores de qualidade ambiental urbana são citados como exemplos: saúde, economia, qualidade de vida urbana e infraestrutura. A análise isolada de um indicador não apresenta um grau de significância e confiabilidade elevado devido a não consideração da história cronológica do indicador. Todavia, "[...] o grau de informação de um indicador pode ser ampliado quando ele é associado a outro indicador, ou ainda, agregando informações de diversos indicadores entre si" (GARCÍAS, 2001, p. 281). Para a análise desses indicadores, o autor propôs o método denominado de Coeficiente de Deficiência de Atendimento (CDA), o qual se baseia na relação entre o valor total acumulado não atendido e o total acumulado do ideal que deveria ser atendido. A aplicação da técnica se fundamenta na elaboração da curva de equi-atendimento.

Tal curva é demarcada a partir das estruturas de repartição dadas, que representam, no nível referencial, uma situação teórica em que os serviços de saneamento (distribuição de água, rede de esgoto, energia elétrica etc.) seriam igualmente atendidos quando representados graficamente por uma reta de 45°. No gráfico da reta de atendimento, no eixo das abscissas (X), localizam-se os serviços a serem considerados, e no eixo das ordenadas (Y), estão as porcentagens igualmente distribuídas entre os serviços que vão possuir o mesmo nível de importância. Nessa metodologia, quanto mais próximo da reta de equi-atendimento, aproximando o CDA do valor zero, melhor seria a distribuição dos serviços de saneamento básico. Desse modo, por meio da sua aplicação, pode-se avaliar a qualidade ambiental urbana a partir de indicadores agregados, considerando-se que é a partir do conjunto de indicadores ambientais urbanos que o planejamento urbano poderá orientar a tomada de decisões de definição de tipos de uso e ocupação considerando os limites sustentáveis (GARCÍAS, 2001).

Na avaliação da metodologia, deve-se apontar como negativo o fato de não haver a preocupação com a espacialização dos indicadores ambientais apontados pelo autor e pela pesquisa considerar que os indicadores trabalhados retratam tão somente a distribuição de alguns serviços sanitários básicos e não aquilo que se entende por qualidade ambiental urbana, num sentido mais amplo, que vai além da distribuição desses serviços. Como aspecto positivo, menciona-se a tentativa de se considerar, como fator preponderante no processo de análise, a agregação de diversos indicadores para o estabelecimento da qualidade ambiental urbana, uma vez que determinado indicador tomado individualmente não traduz sozinho o quadro heterogêneo prevalecente na maioria das áreas urbanas, podendo distorcer a visão da realidade se assim considerado.

A próxima metodologia foi aplicada nos distritos de Capão Redondo, Campo Limpo e Vila Andrade, na cidade de São Paulo, sendo dividida em duas fases: a primeira, que analisou a qualidade ambiental tendo como área de levantamento de

dados os setores censitários, a partir da utilização de indicadores fundamentais para a qualidade de vida e a saúde da população, e a segunda, que analisou as desigualdades na distribuição espacial dos índices de qualidade ambiental (MORATO; KAWAKUBO; LUCHIARI, 2005). Para esses autores, qualidade ambiental urbana é entendida como a provisão de condições adequadas para o conforto e a saúde da população. Os indicadores considerados na realização do trabalho foram: as condições de abastecimento de água, o destino da água servida e do lixo, domicílios improvisados (obtidos do IBGE) e cobertura vegetal (mensurada a partir da interpretação de imagens dos satélites LANDSAT-5/7 e SPOT). Para poder comparar esses indicadores, primeiramente, eles foram transformados em índices seguindo critérios semelhantes aos aplicados pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) no cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Em seguida, gerou-se o índice sintético, sendo o índice de qualidade ambiental urbana a média dos cinco indicadores trabalhados. Esse índice variou entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1 o resultado melhor as condições de distribuição do indicador considerado (MORATO; KAWAKUBO; LUCHIARI, 2005).

A partir dos indicadores e do índice sintético, foram produzidos seis cartogramas para representar a distribuição espacial desses índices (índices de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de coleta de lixo, de vegetação, de domicílios improvisados, e de qualidade ambiental urbana). Essa etapa do trabalho tentou responder a primeira linha de raciocínio proposta pelos autores, a da qualidade ambiental urbana com indicadores da qualidade de vida e de saúde da população. Para conseguir responder a segunda parte da questão levantada, analisou-se a distribuição de renda dos responsáveis pelos domicílios para verificar se havia uma relação com a desigualdade ambiental, o que ficou comprovado, no caso da área estudada (MORATO; KAWAKUBO; LUCHIARI, 2005).

Nessa metodologia também persistem pontos problemáticos, principalmente, por considerar-se que os indicadores avaliados representam muito mais um índice de qualidade sanitária no espaço urbano, haja vista a predominância de indicadores relacionados aos serviços de infraestrutura básica, do que de qualidade ambiental propriamente dita. Cabe também ressaltar que a forma como foi dividido o enfoque do trabalho, primeiro relacionando a qualidade ambiental com a espacialização dos índices de acordo com os setores censitários, e posteriormente procurando correlacioná-la com a distribuição da renda média dos habitantes dessas áreas, embora necessário, e até mesmo essencial, segundo a abordagem, quando realizado de forma separada, pode minimizar, ou quem sabe esconder, certas condicionantes sociais e econômicas imprescindíveis para o estabelecimento dos indicadores de qualidade ambiental urbana, já que constituem um mesmo e único processo que é o de produção do espaço geográfico.

Mesmo assim, foi possível aos autores constatarem que a distribuição da qualidade ambiental urbana está relacionada à distribuição desigual de riquezas no

espaço urbano, onde quem possui melhores condições financeiras reside em áreas ambientalmente mais favoráveis, em detrimento das pessoas com baixos rendimentos que ocupam áreas ambientalmente desfavoráveis, ou seja, arcam com o ônus da boa qualidade ambiental vivenciada pelos que detêm o capital, corroborando com as ideias já expressas nos estudos de Gould (2004) e Acselrad (2004).

Diante da compreensão do conceito de qualidade ambiental urbana apresentada no início do texto, conclui-se que nenhuma das proposições metodológicas retratadas, ou seus desdobramentos posteriores, atende de forma plena o objetivo de mensuração e representação da qualidade ambiental urbana. Mesmo assim, é notável que nas três apareçam contribuições importantes, que podem auxiliar de forma significativa o aprimoramento ou surgimento de novas metodologias e, dessa forma, um melhor entendimento do tema. Com base nesse desafio faz-se, na sequência, a proposição de um encaminhamento metodológico para mapeamento e análise da qualidade ambiental urbana, por meio da utilização de Sistemas de Informações Geográficas e WebGIS, visando ampliar os temas trabalhados pelas metodologias anteriores e melhorando o processamento e tratamento analítico dos dados por meio da adoção de técnicas de geoprocessamento.

Na era da Transformação Digital – e, por que não, da Transformação Digital Territorial (CEREDA JUNIOR, 2017) – por meio da visão geodata-driven (processo de tomada de decisões baseado em dados geográficos), é mister que os governos, desde níveis locais até nacionais ou internacionais, explorem o valor agregado do uso de outras fontes de dados – exemplos das quais, no contexto da Resiliência Urbana, são citadas por Moghadas et. al (2022) como o sensoriamento social (como por redes sociais), colaboração coletiva (crowdsourcing) e Informação Geográfica Voluntária (VGI) – para aprimorar suas capacidades de coleta e análise de dados.

Da mesma forma, encontramos na integração dessas fontes (estruturadas e não-estruturadas) por meio de um framework WebGIS a possibilidade de um acesso quase em tempo real a informações geoespaciais, facilitando, assim, tomadas de decisão baseadas em conhecimento geográfico e incentivando o desenvolvimento de novas metodologias e técnicas ligadas ao Geoprocessamento, servindo como um importante instrumento no enfrentamento dos desafios urbanos e ambientais contemporâneos.

PROPOSTA DE MAPEAMENTO E ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL URBANA USANDO SIG

A partir dos pressupostos teórico-metodológicos que envolvem o tema qualidade ambiental no espaço urbano, ressalta-se a importância do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como suporte ao desenvolvimento desses estudos. Pesquisas como a realizada por Morato, Kawakubo e Luchiari (2005) demonstraram que o uso do SIG facilita o processamento dos dados e a produção de

informações espacializadas, o que permite uma melhor comparação e compreensão dos dados em análise e a representação cartográfica dos resultados.

Diante das grandes possibilidades que os Sistemas de Informação Geográficas trouxeram para a análise espacial, deve-se sempre considerar onde encontrar o dado, a linhagem, a fidelidade aos atributos, a completeza, a consistência lógica, a fidelidade semântica e a temporalidade que representam de acordo com a ICA – International Cartographic Association, pensando em elementos de qualidade posicional.

Nesta linha de pensamento, descreve-se alguns desses elementos:

No que tange as IDE – Infraestruturas de Dados Espaciais, no Brasil denominadas INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais, seu surgimento veio como uma resposta a necessidade de obtenção de informações espaciais e seus respectivos metadados para planejar, gerenciar e monitorar diferentes áreas de atividade e assegurar o desenvolvimento sustentável (GRANT, 1999), tendo como objetivo reduzir esforços e controlar as redundâncias na obtenção de dados espaciais, considerando o princípio da economicidade (RAJABIFARD e WILLIAMSON, 2001).

Outro campo muito relevante é o da Informação Geográfica Voluntária (Volunteered Geographic Information, VGI), dado a grande necessidade de atrair e manter a população como um elemento participativo do processo urbano. A informação geográfica voluntária era um fenômeno recente (GOODCHILD, 2007), porém, hoje bastante discutida e analisada como elemento que oferece um mecanismo alternativo para a aquisição e compilação de informações geográficas .

Se em 2007, Goodchild já exaltava a VGI como a utilização de ferramentas para criar, reunir e divulgar dados geográficos fornecidos voluntariamente por indivíduos, hoje a VGI se destaca em um amplo conjunto de aplicações, desde as contribuições para o mapeamento colaborativo online até posts em redes sociais, que inseridos na Transformação Digital trouxeram novos processos de aquisição e disponibilização de dados geográficos, influenciando amplamente os sistemas tradicionais de autoridade e criando novas formas de envolvimento público com base em contribuições voluntárias (HAWORTH, 2018), incluindo suas dinâmicas espaço-temporais.

O desenvolvimento das representações espaciais torna possível obter um maior conhecimento sobre o local em que se vive e, por isso, pode auxiliar no planejamento e gerenciamento de um determinado espaço local, servindo como instrumento capaz de contribuir para a solução de problemas socioambientais e como forma de amenizá-los (LONGLEY et al., 2015).

Da mesma forma, a necessidade de analisar e representar fenômenos espaciais por meio do uso de mapas é um processo já bastante corriqueiro na ciência

geográfica (MATIAS, 1996). Atualmente, devido à importância assumida pelas ações de planejamento na sociedade contemporânea (SOUZA, 2004; SANTOS, 2004), isso se tornou ainda mais relevante, à medida que se faz necessária, como condição para que transcorra de forma satisfatória, a existência de uma documentação geocartográfica confiável e adequada para nortear a tarefa de gestão da área ou fenômeno objeto do planejamento. A partir daí, observa-se um constante desenvolvimento nas técnicas cartográficas e de suas aplicações, principalmente com o advento das modernas geotecnologias (BURROUGH; MACDONNELL, 1998; NIELSON, 2014).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser entendido, no sentido mais amplo, como o "Conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas (usuários), perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação" (MATIAS et al., 1995, p. 24).

O potencial da aplicação do SIG nos estudos de qualidade ambiental urbana pode ser detectado, em síntese, devido as seguintes características: i) a capacidade de manuseio de diferentes formas de dados (mapas, gráficos, imagens, relatórios etc.) oriundos de diferentes fontes (censos, levantamentos de campo, dados de laboratório, sensores remotos etc.); ii) a facilidade decorrente da padronização e concentração de dados (base de dados georreferenciados) e informações num mesmo ambiente de trabalho; iii) a disponibilidade de diferentes funções analíticas para manuseio dos dados digitais na forma gráfica (espaciais) e alfanumérica (não espaciais); iv) a possibilidade de execução de análises tomando em conta as variáveis espaço-temporais; e v) a oportunidade de expressar os resultados em diversos produtos informacionais: mapas, tabelas, gráficos e relatórios.

Desta forma, Cereda Junior (2017) explica que:

a adoção de Tecnologias e Geotecnologias vai muito além do software para fazer mapas: o que aqui se discute não é introdução de técnicas de mapeamento em ambiente computacional ou mesmo o uso de dispositivos, como smartphones, para o saciar do fetiche pela tecnologia. Trata-se da construção conjunta da Visão Geográfica (Espacial) na formação em seus diversos níveis, levando-o à criticidade quanto ao meio em que se insere sem, contudo, entender este meio como um retrato estático ou contemplativo, proporcionando à Educação concretizar um dos seus papéis fundamentais: a formação de cidadãos para uma sociedade crítica e com justiça socioespacial.

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica em estudos do espaço urbano vem aumentando na proporção em que cresce o número de usuários no mundo inteiro. As principais aplicações se destinam ao armazenamento e tratamento das informações cartográficas e descritivas sobre infraestrutura, características da população, cadastro de imóveis e serviços existentes nas áreas urbanizadas (LAURINI, 2001; LONGLEY et al., 2015; RAE; WONG, 2022).

Sobre infraestrutura destacam-se os trabalhos que visam o planejamento e o monitoramento de redes de esgoto, água, gás, energia elétrica, comunicações e tráfego. Para os estudos de população são construídas bases de dados sociodemográficas visando caracterizar a estrutura e composição da população urbana. Nas aplicações de cadastro o objetivo é modernizar o processo de construção, armazenamento e gerenciamento de informações cadastrais urbanas com intuito de agilizar o atendimento aos serviços públicos e o processo de arrecadação de taxas e impostos. Quanto ao setor de serviços, observam-se inúmeras iniciativas que fazem uso da tecnologia SIG para o planejamento das ações no espaço urbano, caso das empresas de transporte e distribuição (delivery) de produtos por aplicativos ou de segurança e vigilância (MAARSEVEEN; MARTINEZ; FLACKE, 2018). No que diz respeito ao ambiente urbano, dado a necessidade crescente de um maior conhecimento para realizar eficientemente as atividades de planejamento, a aplicação dessa tecnologia significa um grande potencial para obtenção de mapas de alerta, de potencialidade, de intervenção, entre outros, que possibilitam ações integradas para monitoramento e gestão (JOLY, 1990; ROSA, 1995).

Todavia, observa-se que os estudos sobre qualidade ambiental urbana esbarram, quase sempre, na limitação dos temas a serem tratados, as metodologias aqui mencionadas são exemplos disso, o que acaba por imprimir uma visão ainda muito setorializada, quase sempre tendendo a um lado do conhecimento dos aspectos naturais ou sociais do problema, dependendo da formação científica do pesquisador, não representando a real complexidade que o tema exige. Deixa-se, na maioria das pesquisas, de trabalhar efetivamente com a qualidade ambiental para ressaltar alguns elementos constitutivos dela, sejam variáveis mais ligadas ao quadro físico-territorial ou ao socioeconômico. Embora se reconheça a existência da complexidade metodológica que o assunto exige, torna-se cada vez mais premente a necessidade de superá-la, realizando-se propostas que busquem traduzir de forma mais condizente a dimensão da totalidade do que vem a ser a qualidade ambiental em espaços urbanos.

Neste intento, o primeiro problema a ser resolvido diz respeito à adoção de um instrumental tecnológico que possibilite abraçar de forma consequente a quantidade e diversidade de dados espaciais e descritivos a serem trabalhados. A tecnologia SIG serve a isso. Contudo, trata-se de uma tecnologia que exige um conjunto de infraestrutura, em termos de hardware e software, apropriada, além de formação metodológica e técnica adequada aos seus utilizadores. No caso dos computadores e periféricos, constata-se um crescente avanço tecnológico e barateamento nos equipamentos disponíveis, tornando-os a cada dia mais acessíveis, mesmo para os usuários mais modestos. Já com relação aos softwares de geoprocessamento, existe uma vasta gama de opções entre programas com diferentes finalidades e potencialidades, com custos diversos, contando, ainda, com a possibilidade de adoção de softwares gratuitos

e/ou livres¹, geralmente desenvolvidos por instituições públicas de pesquisa, cujo acesso e uso é crescente na comunidade de usuários.

O WebGIS desempenha um papel fundamental na criação, análise e disponibilização de informações geoespaciais de qualidade para um público mais amplo e diversificado, incluindo profissionais, gestores urbanos e a população em geral. Por meio de um WebGIS (como o ArcGIS Online, CARTO, MapServer e outros), os dados e análises relacionados à qualidade ambiental urbana podem ser compartilhados de forma acessível e interativa por meio da internet, em interfaces pensadas para os públicos-alvo, bem como sua representação, tornando-se um instrumento eficaz na disseminação do Conhecimento geográfico, considerando a hierarquia DKIW – *Data-Information-Knowledge-Wisdom*².

Além disso, o advento do WebGIS, que vai além das questões técnicas e traz transformações até mesmo na Cartografia Temática, oferece novas possibilidades ao permitir a colaboração e o envolvimento da Sociedade no processo de caracterização (evidências) e análise (resultados) da qualidade ambiental urbana. Isso é particularmente relevante em um contexto urbano, onde as decisões e políticas que afetam o meio ambiente urbano têm impacto direto na vida dos cidadãos. Com a interatividade proporcionada pelo WebGIS, as partes interessadas (stakeholders) podem explorar mapas, gráficos e dados geoespaciais, contribuindo para uma compreensão mais completa dos desafios e oportunidades relacionados à qualidade ambiental em suas cidades, rumando assim às possibilidades reais – para além de modismos, sensores e normas – de uma Cidade Inteligente.

Como salienta Moghadas et. al (2022), modelos baseados em VGI podem ser considerados mecanismos independentes ou complementares quando e onde as abordagens convencionais são menos adequadas para promover a resiliência coletiva da comunidade ou a cultura de colaboração, e os conjuntos de dados administrativos são menos adequados para fornecer informações geoespaciais abertas, acessíveis e oportunas.

Desta forma, os WebGIS também possibilitam a atualização e a integração contínua de dados geográficos – incluindo Informações Geográficas Colaborativas e Voluntárias (VGI) – mantendo os dados sempre relevantes e atualizados, considerando processos de Modelagem, Limpeza, Normalização, Sistematização e Coerência. Isso é essencial para o acompanhamento das mudanças no espaço urbano ao longo do tempo, permitindo a adaptação de políticas e estratégias de melhoria da qualidade ambiental.

Após o estabelecimento da infraestrutura tecnológica, resta o segundo problema a ser resolvido: como encaminhar a proposta de uso do SIG para mapeamento

1 Alguns softwares livres ou gratuitos, incluindo SIGs, servidores WebGIS e APIs: SPRING (desenvolvimento e suporte encerrado), QGIS, MapServer, GRASS, OPENJump GIS, THUBAN, SAGA GIS. Mais informações podem ser obtidas nos respectivos sítios na Internet.

2 Dados - Informação - Conhecimento - Inteligência.

e análise da qualidade ambiental urbana. Os passos apresentados a seguir retratam de maneira resumida os procedimentos metodológicos para a elaboração da carta de qualidade ambiental urbana, conforme fluxograma esquemático representado na Figura 1.

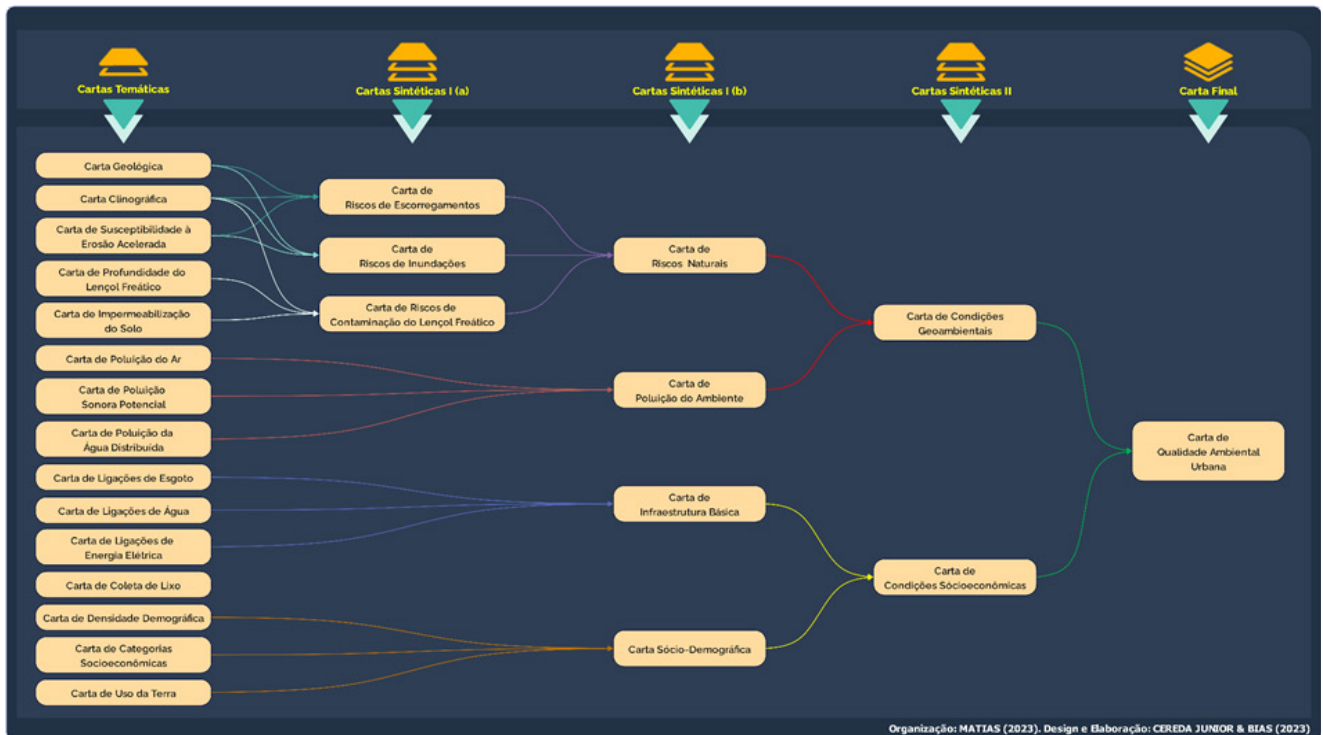


Figura 1: Fluxograma da metodologia para mapeamento e análise da qualidade ambiental urbana com SIG.

A metodologia tem como propósito elaborar a carta de qualidade ambiental urbana seguindo uma estruturação e integração de diversos temas cartográficos, armazenados em meio digital, por meio da sobreposição consecutiva, por afinidades temáticas, dos temas específicos e, posteriormente, produção do mapa resultante. A abordagem na correlação espacial entre os temas envolvidos pressupõe a adoção de critérios qualitativos e quantitativos. O processo de “cruzamento” ocorre de forma a transformar os temas envolvidos (cartas analíticas) em uma carta de síntese segundo a adoção de uma lógica booleana de processamento dos dados (SILVA, 2001; SANTOS, 2004).

Uma vez entendido que a dimensão da qualidade ambiental urbana é resultante de processos que dizem respeito à interface sociedade-natureza, deve-se contemplar uma escolha de dados representativos de ambas as partes, tentando apreender suas inter-relações. Além disso, como apontado por Lombardo (1985, p. 82), “[n]a análise ambiental urbana é necessário [...], considerar o espaço tridimensional – planos horizontais e verticais (incluindo o espaço aéreo, o solo da cidade e o espaço subterrâneo) – e as características de amenidade do meio natural.”

Na elaboração das cartas temáticas fundamentais (Figura 1) duas

preocupações centrais devem ser atendidas: a escala cartográfica a ser adotada nos mapeamentos temáticos e a unidade espacial mínima de mapeamento dos dados. Certamente a elaboração das cartas temáticas numa escala cartográfica a maior possível seria o ideal, todavia, frente às dificuldades de tempo, da demanda por recursos, tanto humanos como financeiros, para a realização das mesmas, das características próprias que envolvem cada tema, e tendo como norteador o objetivo a ser alcançado, sugere-se a adoção de uma escala cartográfica de trabalho de 1:10.000, sendo possível, quando necessário, em função do tamanho da área urbana a ser avaliada, adotar-se uma escala menor.

Com referência a unidade espacial de mapeamento dos dados, deve-se atentar aos requisitos das metodologias particulares de elaboração de cada carta temática, segundo os critérios adotados em cada área científica de onde provém o mapa, mas, para efeito de aplicação em nossa finalidade, os dados deverão ser agrupados e generalizados, quando for o caso, por unidades censitárias, seguindo a delimitação estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que é o recorte geográfico sugerido, uma vez que permitem a integração, através dessas unidades espaciais, dos dados geoambientais e socioeconômicos, uma das premissas centrais a ser cumprida na metodologia.

As cartas temáticas a serem realizadas, num total de quinze, observando-se a possibilidade de obtenção e mapeamento dos dados em função das características específicas da área urbana a ser estudada, devem contemplar os seguintes temas: i) Carta Geológica; ii) Carta Clinográfica; iii) Carta de Susceptibilidade à Erosão Acelerada; iv) Carta de Profundidade do Lençol Freático; v) Carta de Impermeabilização do Solo; vi) Carta de Poluição do Ar; vii) Carta de Poluição Sonora Potencial; viii) Carta de Poluição da Água Distribuída; ix) Carta de Ligações de Esgoto; x) Carta de Ligações de Água; xi) Carta de Ligações de Energia Elétrica; xii) Carta de Coleta de Lixo; xiii) Carta de Densidade Demográfica; xiv) Carta de Categorias Socioeconômicas; e xv) Carta de Uso da Terra.

Além dessas, deve existir uma carta base digital da área urbana, de onde provêm dois temas fundamentais: a Carta Planialtimétrica e a Carta de Limites Administrativos, que, neste caso, corresponda aos limites censitários da área urbana. Foge ao escopo da discussão neste capítulo a descrição minuciosa da etapa de construção das respectivas cartas temáticas, para isso sugere-se a consulta da bibliografia pertinente, em especial os trabalhos de Troppmair (1988), Silva (2001), Blaschke; Kux (2002), Santos (2004), Zuquette; Gandolfi (2004), Silva; Zaidan (2004). Assim, com as cartas temáticas e seus atributos descritivos básicos devidamente armazenados em meio digital, constituindo uma base de dados georreferenciados da área urbana (ZEILER, 1999), construída com aporte do software SIG³ 2 adotado, pode-se executar os procedimentos analíticos necessários:

O primeiro momento consiste na elaboração de uma classificação qualitativa

³ No manual técnico do software SIG adotado, com certeza, consta a documentação com os procedimentos para construção da base cartográfica e do banco de dados associado.

para cada atributo da carta temática, tendo-se em conta a relação entre os elementos mapeados no tema e sua significância para o estabelecimento de um índice de qualidade ambiental. Indica-se a definição de cinco classes segundo o critério de maior ou menor adequabilidade à qualidade ambiental urbana, que em ordem qualitativa decrescente seriam: i) Classe 1: adequada; ii) Classe 2: moderadamente adequada; iii) Classe 3: adequada com restrições; iv) Classe 4: inadequada; v) Classe 5: altamente inadequada.

A classe de menor valor, no caso, representa uma maior adequabilidade do elemento temático em relação à qualidade ambiental, por exemplo, a ausência, na localidade, de poluição do ar, enquanto a classe de maior valor representa, ao contrário, uma forte característica de inadequação, no caso, uma localidade com taxas muito altas de poluição do ar que significam riscos à população. As classes intermediárias representam gradações dessa escala qualitativa. Em alguns casos, dependendo do tema sendo trabalhado, torna-se necessário nomear de forma diferente as classes (alta, média-alta, média, média-baixa, baixa) sem, entretanto, mudar o pressuposto metodológico. A definição das classes, em cada caso, é função do conhecimento científico a respeito de cada tema envolvido e da reflexão efetuada em torno da questão. A adoção desse procedimento classificatório visa homogeneizar o processo metodológico e facilitar o gerenciamento dos dados no SIG, o que pode ser realizado no software com certa facilidade, por meio de funções de edição e gerenciamento de banco de dados.

O próximo passo deve ser a elaboração das cartas sintéticas que, para facilitar o entendimento, foram divididas em três etapas (Cartas Sintéticas Ia, Cartas Sintéticas Ib e Cartas Sintéticas II, conforme pode ser visualizado na Figura 1). Utilizando as funções de sobreposição de mapas (overlay) disponíveis no software SIG, deve-se construir as diferentes cartas sintéticas, produto dos "cruzamentos" entre os temas previstos. A correlação espacial e dos atributos oriundos de cada carta, segundo critérios quantitativos executados sobre o banco de dados, originará as seguintes cartas: Carta de Riscos de Escorregamentos, resultante dos temas Geologia, Clinografia, Susceptibilidade à Erosão Acelerada; Carta de Riscos de Inundações, a partir de Geologia, Clinografia, Impermeabilização do Solo; Carta de Riscos de Contaminação do Lençol Freático, oriunda de Clinografia, Profundidade do Lençol Freático e Impermeabilização do Solo.

As cartas sintéticas que envolvem riscos (Escorregamentos, Inundações, Contaminação do Lençol Freático), na sequência, darão origem a Carta de Riscos Naturais. As cartas de Poluição do Ar, Poluição Sonora Potencial, Poluição da Água Distribuída originam a Carta de Poluição do Ambiente. Por sua vez, a Carta de Riscos Naturais e a Carta de Poluição do Ambiente geram a Carta de Condições Geoambientais. Seguindo o mesmo procedimento, teremos a partir da Carta de Ligações de Esgoto, Carta de Ligações de Água, Carta de Ligações de Energia Elétrica, e Carta de Coleta de Lixo, a produção da Carta de Infraestrutura Básica;

e com a Carta de Densidade Demográfica, Carta de Categorias Socioeconômicas e Carta de Uso da Terra, a construção da Carta Sociodemográfica, que juntamente com a Carta de Infraestrutura Básica resulta na Carta de Condições Socioeconômicas.

Na síntese final, o “cruzamento” da Carta de Condições Geoambientais com a Carta de Condições Socioeconômicas gera o mapa final que é a Carta de Qualidade Ambiental Urbana que, pretende-se, será uma síntese cartográfica representativa dos diversos elementos socioambientais que caracterizam a área urbana objeto de estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas metodologias para o processamento e a análise da informação geográfica, intrínseca ao entendimento e decisões quanto à qualidade ambiental urbana, encontra-se na ordem do dia para os diferentes pesquisadores, já que os problemas ambientais urbanos apresentam uma crescente significância em razão da degradação nos padrões de qualidade de vida no espaço urbano. Espera-se com a proposição da presente metodologia contribuir para o aprofundamento das pesquisas nesta área.

Para além dos paradigmas do Webmapping e DataViz (Visualização de Dados), os SIGs, já consolidados na Academia e na Sociedade (vide SIGs *latu sensu* Waze, Google Maps, Pokémon Go!), e o WebGIS (como plataforma integrada e framework tecnológico, para além das ferramentas hoje disponíveis no mercado – sejam de código-aberto ou proprietários), devem superar a simples representação geométrica e/ou alfanumérica, sobreposição de camadas e informações acessíveis, avançando na capacidade de integrar dados geográficos colaborativos e voluntários, oriundos da Comunidade, com papel vital na construção de uma plataforma de Geoinformação Dinâmica.

Essa abordagem amplia as possibilidades de resiliência coletiva da comunidade e fomenta uma cultura de colaboração nas questões relacionadas à qualidade ambiental urbana: à medida que os conjuntos de dados administrativos tradicionais podem ser insuficientes para fornecer informações geoespaciais abertas, acessíveis e oportunas, as contribuições da Sociedade e a utilização de dados de voluntários desempenham um papel crucial na obtenção de uma visão mais abrangente das complexas dinâmicas urbanas.

Portanto, os SIGs e os WebGIS não se restringem à simples representação de dados, mas também possibilitam a participação ativa da comunidade na coleta e compartilhamento de informações geoespaciais, ampliando a capacidade de análise e gestão da qualidade ambiental urbana. Esse paradigma de colaboração e integração de dados de fontes diversas, incluindo a comunidade, contribui para uma compreensão mais completa e dinâmica das mudanças no espaço urbano

ao longo do tempo. Dessa forma, consolida-se a visão de um conjunto ferramental não apenas para mapeamento, mas, principalmente, como mecanismo único na construção de cidades e comunidades inteligentes, apoiadas em Infraestruturas de Dados Espaciais, alinhando-se com as necessidades da sociedade contemporânea em relação ao ambiente urbano e à qualidade de vida.

O passo seguinte deve ser a aplicação da metodologia no estudo da realidade de algumas áreas urbanas, para que se possa avaliar de forma efetiva os procedimentos metodológicos sugeridos e colher novos subsídios para uma avaliação e consequente aprimoramento da metodologia.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, H. Justiça Ambiental – ação coletiva e estratégias argumentativas. In: ACSELRAD, H. et al. (Orgs.) Justiça Ambiental e cidadania. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 2004.

BLACHKE, T.; KUX, H. Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

BURROUGH, P. A.; MACDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, F. R. Dinâmica social, qualidade ambiental e espaços intra-urbanos em São Paulo: uma análise socioespacial. São Paulo: FAPESP, 2001.

CARLOS, A. F. A. A cidade. São Paulo: Contexto, 1997a.

_____. Espaço e indústria. São Paulo: Contexto, 1997b.

CARLOS, A. F. A.; SOUZA, M. L. de.; SPOSITO, M. E. B. A produção do espaço urbano: agentes e processos, escalas e desafios. São Paulo: Contexto, 2012.

CESAR, V. V. Territorialización de ODS - Los SIG como herramientas para valorar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Revista GEOciencias datos, 9 ed. Ecuador, p. 74, 2021.

CEREDA JUNIOR, A. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na bacia do Ribeirão do Monjolinho – São Carlos – SP – utilizando ferramentas de geoprocessamento. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

CEREDA JUNIOR, A. Inteligência Geográfica e a Transformação Digital: competências básicas na Gestão do Território alavancando oportunidades profissionais. Revista Digital de Engenharia da APEAESP, no. 1; maio a julho de 2017

CORRÊA, R. L. O espaço urbano. São Paulo: Ática, 1995.

_____. Trajetórias Geográficas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

- GARCÍAS, C. M. Indicadores de qualidade ambiental urbana. In: BOLMANN, H. A. et al. (Orgs.) Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 2001.
- GOMES, H. A produção do espaço geográfico no capitalismo. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1991.
- GONÇALVES, C. W. P.; Os (des)caminhos do meio ambiente. 12 ed. São Paulo: Contexto, 2005.
- GOODCHILD, M. F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, Vol. 69, p. 211–221, 2007.
- GOULD, K. A. Classe social, justiça ambiental e conflito político. In: ACSERALD, H. et al. (Orgs.) Justiça Ambiental e cidadania. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 2004.
- GUIMARÃES, R. P. Ecopolítica em áreas urbanas: a dimensão política dos indicadores de qualidade ambiental. In: Debates Urbanos, nº 7, Rio de Janeiro: Zahar, 1984.
- GRANT, D. Spatial Data Infrastructures: the vision for the future and the role of government in underpinning future land administration systems. In: International Conference on Land Tenure and Cadastral Infrastructures for Sustainable Development, Proceedings. Melbourne p. 94–109. 1999.
- HAESBERT, R. O mito da desterritorialização: do “fim dos territórios” à multiterritorialidade. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.
- HENKE-OLIVEIRA, C; SANTOS, J. E.; TOPPA, R. H. Efeitos do uso do solo urbano na qualidade ambiental e de vida, na vegetação e na impermeabilização do solo. In: CAVALHEIRO, F. et al. (Orgs). Faces da polissemia da paisagem: ecologia, planejamento e percepção. Vol. 2. São Paulo: FAPESP/RiMa, 2004.
- JOLY, F. A Cartografia. Campinas: Papirus, 1990.
- LAURINI, R. Information systems for Urban Planning. New York: Taylor & Francis, 2001.
- LEFEBVRE, H. A cidade do capital. 2. ed. Rio de Janeiro: DP & A, 2001.
- LOMBARDO, M. A. Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.
- LONGLEY, P. A. et al. Geographical Information Systems and Science. 3rd. ed. New York: John Wiley & Sons, 2015.
- LUENGO, G. Elementos para la definición y evaluación de la calidad ambiental urbana. Una propuesta teórico-metodológica. Anais do IV Seminário Latinoamericano de Calidad de Vida Urbana. Tandil (Argentina), 8 a 11 de setembro de 1998.
- MAARSEVEES, M. van; MARTINEZ, J.; FLACKE, J. (eds.) GIS in Sustainable Urban Planning and Management: A Global Perspective. New York: CRC Press, 2018.

- MARTINELLI, M. Curso de cartografia temática. São Paulo: Contexto, 1991.
- MARTINELLI, P. Qualidade ambiental urbana em cidades médias: proposta de modelo de avaliação para o estado de São Paulo. 2004, 130 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.
- MATIAS, L. F. Sistema de Informações Geográficas (SIG): teoria e método para representação do espaço geográfico. São Paulo, 2001. 313p. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- _____. Por uma cartografia geográfica: uma análise da representação gráfica na geografia. São Paulo, 1996. 146p. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- MATIAS, L. F. et al. Qual a melhor definição de SIG. FATOR GIS, Curitiba: Sagres, v. 03(11), p. 20-24, 1995.
- MENDONÇA, F. Geografia socioambiental. In: MENDONÇA, F.; KOZEL, S. (Orgs.) Elementos de epistemologia da geografia contemporânea. Curitiba: Ed. UFPR, 2004.
- MOGHADAS, M.; RAJABIFARD, A.; FEKETE, A.; KÖTTER, T. A Framework for Scaling Urban Transformative Resilience through Utilizing Volunteered Geographic Information. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2022, 11, 114. <https://doi.org/10.3390/ijgi11020114>
- MORAES, A. C. R. Meio ambiente e ciências humanas. São Paulo: Hucitec, 1994.
- MORATO, R. G; KAWAKUBO, F. S; LUCHIARI, A. Geografia da desigualdade ambiental na Subprefeitura de Campo Limpo município de São Paulo-SP. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE, p. 2281-2288, 16-21 de abril 2005.
- NIELSON, D. Geographic Information Systems (GIS): Techniques, Applications and Technologies. New York: Nova, 2014.
- NUCCI, J. C. Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP). São Paulo: Humanitas/FFLCH USP, 2001.
- _____. Metodologia para determinação da qualidade ambiental urbana. Revista do Departamento de Geografia. Curitiba, n.12, p. 209-224, 1998.
- RAE, A.; WONG, C. Applied Data for Urban Planning and Manegement. Los Angeles: Sage, 2022.
- RAJABIFARD, A., WILLIAMSON, I. P. Spatial Data Infrastructures: concept, SDI hierarchy and future directions. In GEOMATICS'80. Proceedings of Conference. Tehran. 2001.
- RODRIGUES, A. M. Produção e consumo do e no espaço: problemática ambiental urbana. São Paulo: Hucitec, 1998.

ROSA, R. O uso de SIG's para o zoneamento uma abordagem metodológica. São Paulo, 1995. 38p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

SANTOS, M. Técnica espaço tempo globalização e meio técnico-científico informacional. 2. ed. São Paulo: Hucitec, 1996a.

_____. A natureza do espaço: técnica e tempo. razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 1996b.

SANTOS, R. F. Planejamento Ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SILVA, M. L. G. da. Análise da qualidade ambiental urbana da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição. 2002, 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SILVA, J. X. da. Geoprocessamento para análise ambiental. Rio de Janeiro: Edição do Autor, 2001.

SILVA, J. X. da.; ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

SINGER, P. Economia política da urbanização. São Paulo: Contexto, 1998.

SOUZA, A. Qualidade da vida urbana. In: Debates Urbanos, no. 7, Rio de Janeiro: Zahar, 1984.

SOUZA, M. L. DE. Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

SPOSATI, A. Cidade, território, exclusão/inclusão social. Texto apresentado originalmente no Congresso Internacional de Geoinformação – GEO Brasil/2000, São Paulo, Palácio das Convenções do Anhembi – 16/06/2000.

SPÓSITO, M. E. B; Capitalismo e urbanização. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1989.

SUERTEGARAY, D. M. A. Geografia física(?) geografia ambiental(?) ou geografia e ambiental(?). In: MENDONÇA, F.; KOZEL. S. (Orgs.) Elementos de epistemologia da geografia contemporânea. Curitiba: Ed. UFPR, 2004.

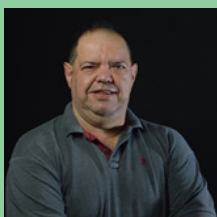
TROPPEMAIR, H. Metodologia simples para pesquisar o meio ambiente. Rio Claro: Ed. do Autor, 1988.

ZEILER, M. Modelling our World: The ESRI® Guide to Geodatabase Design. Redlands: ESRI, 1999.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. Cartografia geotécnica. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

CAPÍTULO 10

Aplicações e Ferramentas Geotecnológicas para a Gestão Ambiental Urbana



Nilson Clementino Ferreira

Possui graduação em Engenharia Cartográfica pela UNESP (1990), mestrado em Engenharia de Transportes pela USP (1997) e doutorado em Ciências Ambientais pela UFG (2006). Atuou no Centro de Sensoriamento Remoto do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais entre 1995 e 2003. Foi docente da Universidade de Brasília, junto ao Centro Integrado de Ordenamento Territorial entre 1998 e 2001. Atualmente é professor da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. É professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais- CIAMB/UFG e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária PPGEAS/UFG. . Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geoprocessamento, atuando principalmente nos seguintes temas: Geoprocessamento, Cartografia, Sensoriamento Remoto, SIG, Monitoramento Ambiental e Zoneamento Ecológico e Econômico.

Aplicações e Ferramentas Geotecnológicas para a Gestão Ambiental Urbana

Nilson Clementino Ferreira

Em 2008, pela primeira vez na história, a maioria da população humana passou a residir em áreas urbanas. Desde então, a taxa de urbanização tem continuado a aumentar, e estima-se que, no ano de 2050, cerca de 68% da população mundial resida em áreas urbanas (ONU, 2018).

No Brasil, a população urbana superou a população rural em 1970. Desde então, a urbanização no Brasil tem aumentado continuamente, e, atualmente, cerca de 87% dos brasileiros residem em áreas urbanas (IBGE, 2021).

Os fatores que contribuíram para o aumento da urbanização no Brasil, e em vários outros países do mundo, são vários e complexos, tais como desenvolvimento econômico, desenvolvimento tecnológico e industrial, aumento na oferta de empregos e oportunidades de negócios, aumento na oferta de infraestrutura e serviços de transporte, segurança pública, saúde, educação, comunicação, energia, saneamento, entre outros. Todos esses fatores têm induzido a migração da população do campo para as cidades em busca de melhores oportunidades e melhoria da qualidade de vida.

No entanto, no Brasil, a rápida expansão das áreas urbanas, na maioria das vezes sem o devido planejamento, e a grande desigualdade socioeconômica de seus habitantes, resultou em vários problemas ambientais, tais como:

- desmatamentos e/ou degradação de áreas naturais, que causam perda da biodiversidade, aceleração de processos erosivos e assoreamento de corpos hídricos (Simkin et al. 2022);
- uso inadequado do solo, devido a implantação de edificações em áreas impróprias, tais como encostas declivosas e planícies alagáveis, que podem resultar no aumento de riscos de desastres naturais, por deslizamentos de terras e ocorrências de enchentes e/ou alagamentos (Ercoli, Matias, and Zago 2020; Zhang, Ma, and Wang 2008);
- perda da quantidade e qualidade dos recursos hídricos, por processos de assoreamento, pela contaminação e/ou poluição de rios, lagos, oceanos e águas subterrâneas devido à disposição inadequada de resíduos e rejeitos sólidos e líquidos, resultando em situações de insegurança hídrica (Kim et al. 2018);
- perda da qualidade atmosférica, causada pela concentração de gases tóxicos, como monóxido de carbono, dióxido de enxofre e partículas finas,

que podem causar problemas respiratórios e cardiovasculares (Fioreze and Santos 2013; Mage et al. 1996);

- gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos, resultando em lixo acumulado em áreas públicas, além de provocar a proliferação de vetores de doenças (Leao, Bishop, and Evans 2004);
- infraestrutura inadequada da rede de microdrenagem urbana, que resulta em alagamentos e na ocorrência de enxurradas de alta energia, que causam prejuízos materiais e pode, até mesmo, levar a perda de vidas humanas (Walsh, Fletcher, and Burns 2012); e
- perda do conforto ambiental devido a diminuição de áreas verdes, arborização precária, canalização e drenagem de corpos hídricos e áreas úmidas, além de adensamento de edificações que interferem nos fluxos de ar (Singh and Kalota 2019).

A gestão ambiental urbana é um conjunto de práticas e políticas voltadas para a preservação e melhoria da qualidade do meio ambiente em áreas urbanas. Ela necessita de ações coordenadas por governos, organizações não-governamentais e comunidades locais, a fim de minimizar os impactos ambientais negativos decorrentes da urbanização.

Áreas urbanizadas são espaços geográficos complexos, com alta densidade de redes de infraestrutura, onde ocorrem os mais variados eventos sociais, econômicos e ambientais. Portanto, a gestão ambiental urbana pode considerar uma variada quantidade de estratégias, relacionadas aos sistemas de mobilidade, conservação e preservação de áreas verdes e da arborização urbana, relacionadas aos sistemas de tratamento e distribuição de águas, à rede de coleta e tratamento de esgoto, ao sistema de drenagem urbana, à rede de distribuição de energia elétrica, ao controle de poluição sonora, luminosa, dos solos, da atmosfera e dos recursos hídricos, ao gerenciamento de resíduos sólidos, além da promoção da educação ambiental e da participação da social na tomada de decisões ambientais, entre outras.

A gestão ambiental urbana pode ser considerada um conjunto de práticas e políticas integradas que visam a promoção da sustentabilidade e da qualidade de vida nas cidades, equilibrando o desenvolvimento econômico e social com a proteção do meio ambiente.

As etapas da gestão ambiental urbana podem variar conforme as características institucionais do município, ou então conforme a abordagem e conceitos teóricos considerados. Porém, geralmente a gestão ambiental inclui as seguintes etapas:

- Diagnóstico ambiental: levantamento de dados e informações acerca das condições ambientais da área urbana. Nessa etapa, são identificadas

as principais fontes de poluição, a situação das áreas verdes, a situação da hidrografia, da infraestrutura de saneamento básico, os diversos passivos ambientais, os recursos naturais existentes e os problemas relacionados à qualidade de vida da população.

- **Planejamento:** com base no diagnóstico ambiental, elabora-se um plano de ações a fim de mitigar os impactos ambientais negativos e promover o desenvolvimento urbano considerando todos os aspectos ambientais. Nessa fase, são definidos objetivos, metas e indicadores de desempenho, além de serem selecionadas as melhores estratégias para alcançá-los.
- **Implementação:** execução das medidas definidas no plano de ações. Nessa etapa, são mobilizados recursos financeiros, humanos e materiais para a implementação das ações previstas, bem como são estabelecidos mecanismos de monitoramento e avaliação da eficácia das medidas implementadas.
- **Regulação ambiental:** atividades diárias de monitoramento dos recursos naturais e da biodiversidade, fiscalização e licenciamento ambiental de empreendimentos.
- **Monitoramento e avaliação:** nessa fase, há o acompanhamento do progresso da implementação do plano de ações e a avaliação dos resultados alcançados. Realiza-se avaliações periódicas a fim de verificar se as metas e objetivos estabelecidos foram atingidos e se as ações implementadas estão tendo os impactos desejados na qualidade ambiental da área urbana.
- **Revisão e aprimoramento:** com base nos resultados do monitoramento e avaliação, o plano de ação pode ser revisado e aprimorado com o intuito de garantir que as medidas adotadas sejam mais eficazes e adequadas às necessidades da área urbana.

Essas etapas da gestão ambiental urbana são iterativas e interdependentes, ou seja, a revisão e aprimoramento do plano de ações pode identificar a necessidade de elaboração de novo diagnóstico ambiental, planejamento e implementação de medidas mais eficazes e sustentáveis. O processo de gestão ambiental pode considerar ainda a adoção de mecanismos econômicos, tais com pagamentos por serviços ambientais, incentivos fiscais para empreendimentos sustentáveis, entre outros.

Por possibilitarem a coleta, armazenamento, processamento e publicação de dados e informações geograficamente referenciadas, as geotecnologias se consolidaram, nas últimas décadas, como instrumentos fundamentais na gestão ambiental de áreas urbanas. Atualmente, há uma grande quantidade de geotecnologias de acesso livre e gratuito, tais com imagens satelitárias e aéreas,

programas computacionais para computadores pessoais, aplicativos para dispositivos móveis, plataformas computacionais de processamento de dados geográficos em nuvens, entre outros. Outras geotecnologias se tornam, com o passar do tempo, mais acessíveis, tais como receptores de sinais de satélites de posicionamento, veículos não tripulados para mapeamento aéreo, entre outros.

Geotecnologias para aquisição de dados geográficos em áreas urbanas

A grande densidade de elementos naturais e antrópicos nas áreas urbanas e a dinâmica temporal de eventos, que podem resultar em alterações na paisagem local das cidades, resultam em grande demanda por dados geográficos atualizados, com alto detalhamento espacial e exatidão posicional. Para as várias instituições de todas as esferas administrativas, é importante que esses dados estejam disponíveis a custos financeiros viáveis, ou ainda sem custos para aquisição.

Atualmente, há uma expressiva quantidade de sensores acoplados a satélites orbitais, que disponibilizam gratuitamente imagens satelitárias com resolução espacial métrica, com frequência de revisita de até 5 dias. Essas imagens são imprescindíveis em todas as etapas da gestão ambiental, pois possibilitam a elaboração de análises rápidas e atualizadas da paisagem urbana. Além disso, as várias bandas espectrais dessas imagens possibilitam analisar as condições da vegetação.

A missão de produção de imagens Sentinel 2, formada pelos satélites Sentinel 2A e Sentinel 2B, possibilita a revisita de 2 a 3 dias em locais de latitude média. O sensor MSI (Multispectral Instrument) está instalado a bordo dos dois satélites e possibilita a produção de imagens com 13 bandas espectrais, com resolução espacial variando entre 10 metros, 20 metros e 60 metros.

As imagens produzidas pela missão Sentinel 2 são disponibilizadas gratuitamente na Internet, em várias plataformas, sendo uma das mais acessíveis o EOBrowser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>). Essa plataforma disponibiliza várias composições coloridas das imagens, além de índices espectrais de vegetação e de umidade, bem como mapeamento temático de uso e cobertura dos solos (figura 1). Para fazer download das imagens, basta se cadastrar na plataforma.

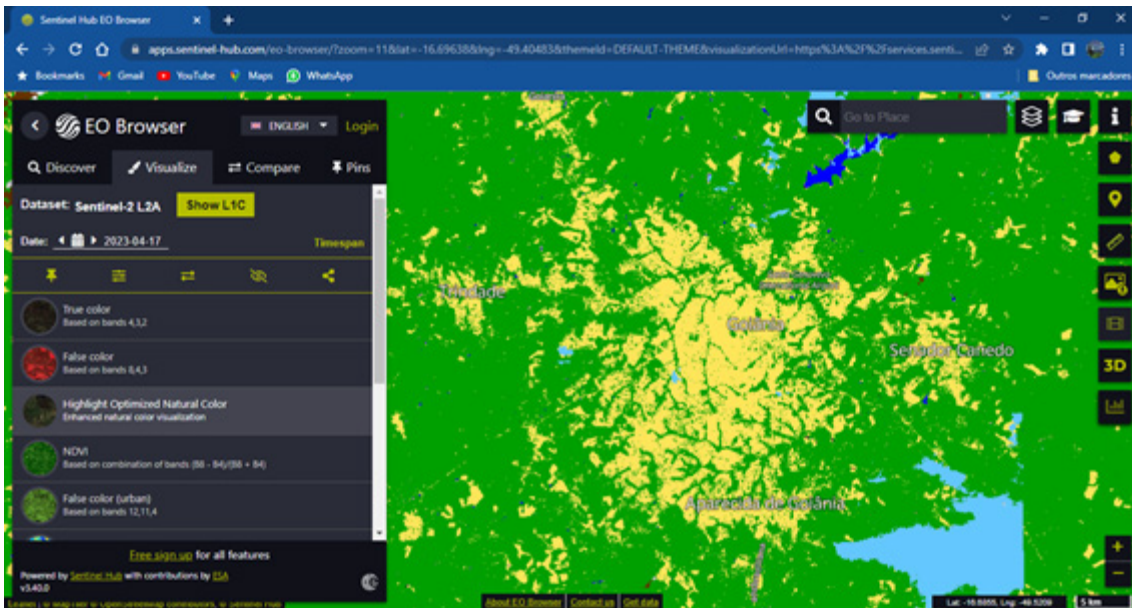


Figura 1 - Plataforma EOBrowser com mapa temático de uso e cobertura do solo no dia 17 de abril de 2023, da Região Metropolitana de Goiânia.

Por meio da composição colorida de bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), as imagens da missão Sentinel 2 possibilitam a visualização de incêndios florestais, como o ocorrido no Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco, localizado nas proximidades das áreas urbanas de Goiânia e Terezópolis do Goiás, em setembro de 2020 (figura 2).

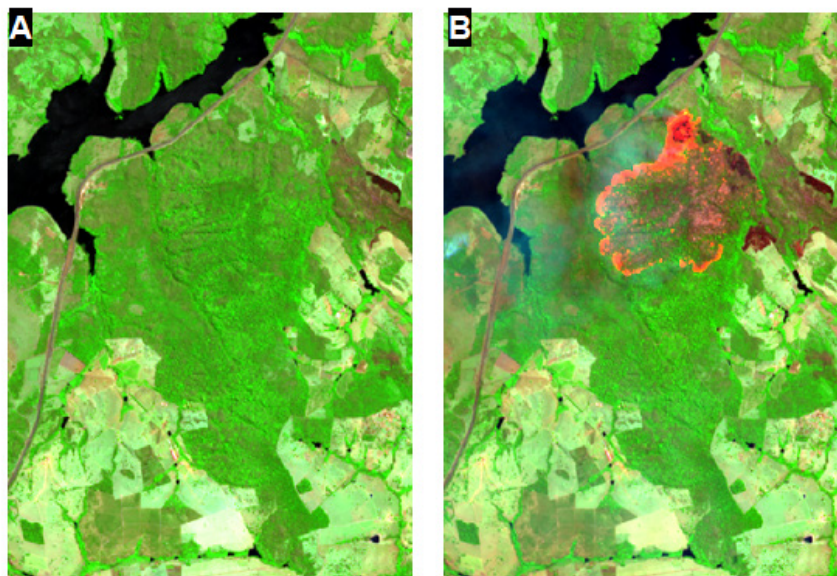


Figura 2- Ocorrência de incêndio florestal no Parque Altamiro de Moura Pacheco: (A) situação em 09 de setembro de 2020, antes do incêndio; (B) situação em 14 de setembro de 2020, com o incêndio ocorrendo.

Por meio de operações aritméticas entre as bandas espectrais 8A e 11, é possível calcular o índice da diferença normalizada de umidade da vegetação (equação 1):

$$NDMI = \frac{B8A - B11}{B8A + B11} \quad (1)$$

Na figura 3, pode-se observar a variação de umidade da vegetação antes e durante a ocorrência do incêndio no Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco, em setembro de 2020.

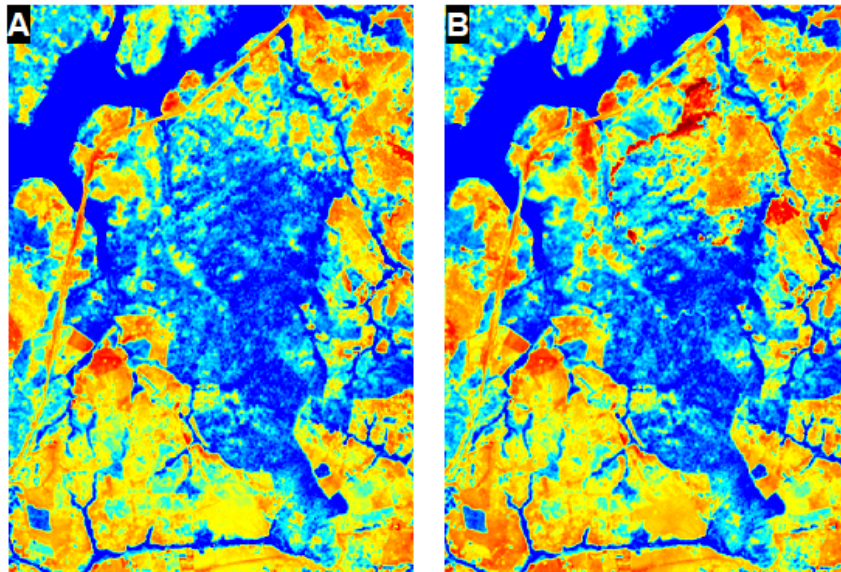


Figura 3 - Imagens de índice de diferença normalizada da umidade da vegetação, sendo que quanto mais intensa for a tonalidade de azul, maior é a umidade da vegetação: (A) situação da umidade da vegetação em 09 de setembro de 2020; (B) situação da umidade da vegetação durante a ocorrência de incêndio em 14 de setembro de 2020.

Da mesma forma, é possível aplicar outros índices espectrais a fim de avaliar a condição da vegetação.

Além de incêndios, as imagens produzidas pela missão Sentinel 2 podem ser utilizadas no monitoramento da expansão de áreas urbanas, a fim de se detectar rapidamente a ocorrência de ocupações irregulares, que podem resultar na formação de áreas de risco nas cidades.

Em situações que necessitam de maior detalhamento espacial, uma possibilidade é utilizar imagens produzidas pelo sensor WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura), que está instalado a bordo do satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS 4A), lançado em dezembro de 2019, atualmente em órbita e em plena operação.

As imagens CBERS 4A/WPM podem ser obtidas gratuitamente na internet, por meio do catálogo de imagens (<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>), gerenciado pela Divisão de Geração de Imagens (DGI), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

As imagens produzidas pelo sensor WPM possuem 4 bandas espectrais, uma na região do azul, do espectro eletromagnético, outra na região do verde, outra na região do vermelho, e finalmente uma banda na região do infravermelho próximo. As quatro bandas espectrais possuem resolução espectral de 8 metros.

O sensor WPM possui ainda uma banda pancromática, que envolve toda a região do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, cuja resolução espacial é de 2 metros. Com essas características, o uso mais comum das imagens CBERS 4A/WPM é o de fusão entre a banda pancromática e as bandas multiespectrais, gerando assim uma imagem de quatro bandas espectrais com resolução espacial de 2 metros (figura 4).



Figura 4 - Imagem CBERS 4A/WPM, obtida em 2021, com resolução espacial de 2 metros, da região leste da área urbana de Goiânia.

O CBERS 4A possui um tempo de revisita de 31 dias, que é muito maior que o tempo de revisita da missão Sentinel 2. Assim, é interessante a utilização conjunta das imagens Sentinel 2 e CBERS 4A, fazendo-se o monitoramento com o Sentinel 2, para identificar alterações na paisagem urbana e nos locais de interesse; espera-se a disponibilidade das imagens CBERS 4A/WPM para análises com maiores detalhamentos espaciais.

Empresas privadas que atuam no mercado de tecnologias oferecem, atualmente, imagens de alta resolução espacial de até 30 centímetros. Há ainda a possibilidade de se adquirir serviço de imageamento com revisita diária e resolução espacial de 3 metros, produzidas por constelações de nano-satélites.

Torna-se, também, cada vez mais comum a utilização de veículos aéreos não-tripulados, também denominados drones, na aquisição de mapeamentos detalhados de áreas urbanizadas, para as mais diversas finalidades, entre elas a gestão ambiental.

Atualmente, há no mercado uma significativa diversidade de veículos aéreos não-tripulados para mapeamento, sendo que a configuração de equipamento ideal para essa finalidade depende do tamanho das áreas a serem mapeadas.

das, nível de exatidão e detalhamentos espacial e espectral dos mapeamentos, entre outros fatores.

Há muitas vantagens na utilização de veículos aéreos não tripulados para mapeamento, sendo a primeira o alto detalhamento espacial, que pode chegar a alguns centímetros. Além disso, esses equipamentos e os programas computacionais de processamento dos dados aerofotogramétricos possibilitam o mapeamento altimétrico. Há veículos aéreos não tripulados com sensores a laser, que possibilitam o mapeamento altimétrico em alto detalhamento e exatidão. Outra vantagem dos veículos aéreos não tripulados é a flexibilidade na realização de mapeamentos, que pode ocorrer a qualquer momento, exigindo apenas o planejamento e condução do equipamento até o local a ser mapeado. Como esses equipamentos são construídos para voar a baixas altitudes, mesmo com a presença de nuvens eles podem ocorrer. Porém, alguns cuidados devem ser tomados no caso de mapeamentos em zonas aeroportuárias e faz-se necessária, também, a obtenção de homologações e licenças a partir de instituições responsáveis por telecomunicações, tráfego aéreo e defesa.

O mapeamento com drones pode ser aplicado às mais diversas atividades da gestão ambiental, entre elas o planejamento, monitoramento da cobertura vegetal e uso do solo, mapeamento de ocupações irregulares, mapeamento de parques e outras unidades de conservações municipais, mapeamento de vazios urbanos, monitoramento da disposição de resíduos sólidos de maneira irregular, mapeamento de áreas de risco, mapeamento e acompanhamento de processos erosivos (figura 5), mapeamento da macrodrenagem urbana, fiscalização ambiental, acompanhamento de licenciamento ambiental, entre outras.



Figura 5 - Visualização tridimensional, a partir de mapeamento com drone, de processo erosivo intenso ocorrido no município de Cristalina-GO

Atualmente, uma tecnologia de mapeamento ao alcance de todas as pessoas são os smartphones. Dotados de receptores de sinais de satélites de posicionamento e de aplicativos que permitem o acesso a mapas digitais, essa geotecnologia permite que qualquer pessoa consiga rapidamente obter a sua

localização geográfica em qualquer local do globo terrestre. A grande acessibilidade dos smartphones, aliada a possibilidade de localização geográfica e o acesso a mapas digitais, possibilitou a implantação de uma cadeia de negócios, em escala global, de entrega de bens e serviços.

Com todas essas características, é muito importante que os municípios venham a adotar os smartphones na gestão ambiental urbana, possibilitando maior agilidade aos agentes ambientais na fiscalização, no licenciamento ambiental, no monitoramento e nas demais atividades. Os smartphones permitem, ainda, a inclusão de cidadãos na gestão ambiental urbana, pois é possível que enviem dados a respeito de problemas ambientais nas áreas urbanas, tais como ocorrência de alagamentos, inundações, erosões, disposição irregular de resíduos, desmatamentos, ocorrência de fogo, rompimentos da rede de distribuição de água ou da coleta de esgotos, obstrução na rede de drenagem urbana, deslizamentos e movimentações de massas, maus tratos a animais domesticados e silvestres, entre outras. Aplicativos simples e acessíveis podem permitir que cidadãos enviem mensagem contendo coordenadas geográficas, imagens (vídeos e fotos), textos e mensagens de voz, detalhando as questões ambientais.

A adoção de cidadãos na gestão ambiental, por meio dos smartphones, torna viável a inclusão da sociedade no geoprocessamento, como agente ativo no processo de gestão ambiental, tornando assim os municípios mais democráticos e eficientes.

Há vários aplicativos gratuitos para mapeamento utilizando smartphones, um dos quais é o QField. Esse aplicativo é plenamente compatível com o programa computacional para sistema de informações geográficas denominado QGIS. O QField possibilita a visualização de diversas camadas de dados geográficos em estrutura vetorial e em estrutura matricial; é possível visualizar atributos descritivos de todos os dados, há funcionalidades para selecionar as camadas que serão exibidas, é possível aproximar, afastar e realizar deslocamentos do mapa, conforme a necessidade de visualização. O QField permite obter coordenadas de qualquer ponto do mapa, permite realizar medições de ângulos, distâncias e áreas, possibilita realizar a edição de dados vetoriais (pontuais, lineares e poligonais), e permite a entrada e edição de atributos (figura 6). Em campo, o QField pode operar plenamente sem a Internet.

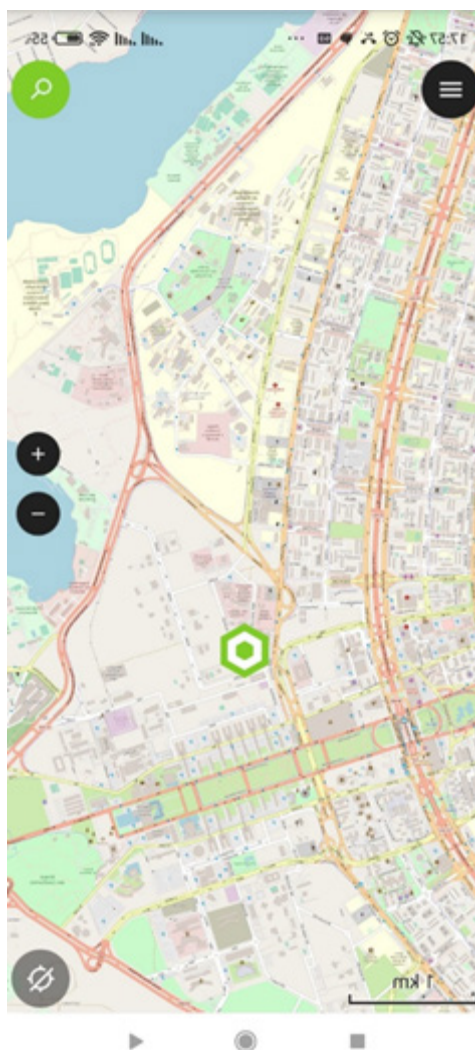


Figura 6 – Aplicativo Qfield para mapeamento, utilizando dispositivos móveis.

Geotecnologias para armazenamento e compartilhamento de dados geográficos

A gestão ambiental em áreas urbanas necessita não somente de um banco de dados geográficos organizado, sobre as variáveis ambientais, mas também com acesso a todos os dados de responsabilidade das várias outras instituições que atuam no município. Da mesma forma, essas instituições necessitam acessar os dados ambientais geograficamente referenciados.

A expansão de área urbana municipal necessita de dados a respeito de tipos de solos, de tipos de vegetação, clima, relevo, geologia, fauna, hidrografia, entre outros. A instalação de infraestrutura de energia, transporte e saneamento necessita de dados a respeito de e da ocorrência de processos erosivos, ocorrência de incêndios florestais, tipos de solos, arborização, profundidade de águas subterrâneas, etc.

Da mesma forma, a gestão ambiental necessita de dados a respeito da localização dos mais variados tipos de infraestruturas, do uso e ocupação do solo urbano, entre outros.

Dessa forma, todas as instituições que atuam no município devem ter seus próprios bancos de dados geográficos, sendo essas instituições responsáveis pelo levantamento, validação, organização e armazenamento de seus dados geográficos.

Atualmente, há vários programas computacionais livres que atuam como gerenciadores de bancos de dados geográficos, por exemplo: o PostgreSQL, com o complemento PostGIS, o SQLite, MySQL, entre outros.

A utilização de programas computacionais gerenciadores de bancos de dados geográficos trás inúmeras vantagens para as instituições, pois garantem maior segurança dos dados e, além disso, permitem a categorização de usuários por tipo de acesso, possibilitando a organização dos dados por grandes temas ou instâncias, e maior velocidade no acesso aos dados. Alguns desses programas computacionais permitem, ainda, a realização de processamento dos dados, com maior performance, possibilitando um processamento de alto desempenho no caso de dados geográficos complexos, com alto detalhamento espacial.

De posse do banco de dados geográficos organizado, por meio da interoperabilidade, vários programas computacionais de sistema de informações geográficas realizam um pleno acesso aos dados, podendo gerar visualizações, edições, consultas, processamentos e publicações desses dados e informações produzidas.

Os bancos de dados geográficos possibilitam, também, a integração a programas que atuam como servidores de dados e informações geográficas via Internet. Esses servidores de dados geográficos são integrados aos programas gerenciadores de bancos de dados geográficos, e cada camada de dados pode ser configurada no servidor, para ser acessada via Internet; permite-se configurar a simbologia para exibição de cada camada, assim como como os atributos descritivos de cada camada podem ser acessados. Após todas as configurações, as camadas de dados geográficos, armazenadas em estruturas matriciais ou vetoriais, podem ser acessadas por meio de protocolos padronizados, como os protocolos WMS, WFS e WCS. Esses protocolos foram estabelecidos pela OpenGIS Consortium, que é uma organização internacional dedicada ao desenvolvimento de padrões abertos para tecnologias geoespaciais. O objetivo da OpenGIS Consortium é promover a interoperabilidade entre diferentes sistemas e aplicativos que usam dados geoespaciais.

Utiliza-se o protocolo WMS (Web Map Service) para acessar mapas estáticos a partir de um servidor de dados geográficos. O servidor recebe uma solicitação de um cliente (um navegador da web, um programa computacional de sistema de informações geográficas, um aplicativo para aparelho móvel), que especifica a área geográfica de interesse e outros parâmetros. O servidor então processa a solicitação e retorna um mapa em estrutura matricial (geralmente em formato JPEG, PNG ou GIF), que pode ser exibido no cliente.

O protocolo WFS (Web Feature Service) é usado para solicitar dados geoespaciais vetoriais a partir de um servidor de dados geográficos. Em vez de retornar um mapa estático, o servidor retorna dados geoespaciais em estrutura vetorial (como pontos, linhas e polígonos), que podem ser utilizados para criar mapas personalizados ou para análises geoespaciais. Os dados podem ser retornados em vários formatos, como GML, GeoJSON ou Shapefile.

O protocolo WCS (Web Coverage Service) é usado para solicitar informações geoespaciais que representam valores contínuos ou discretos, armazenados em estrutura matricial, como imagens de satélite, mapas de elevação e dados climáticos, mapas de uso e cobertura dos solos. O servidor retorna dados em estrutura matricial, que podem ser utilizados para a construção de novos mapas ou para análises geoespaciais. Os dados podem ser retornados em vários formatos, tais como GeoTIFF, NetCDF ou HDF.

Os servidores de mapas e os protocolos WMS, WFS e WCS permitem que os dados geoespaciais sejam compartilhados entre as várias instituições que atuam em um município, considerando os mais diversos temas. Assim, dados ambientais geograficamente referenciados podem ser integrados a dados de saneamento, de distribuição de energia elétrica, de saúde, educação, segurança, do uso e ocupação do solo, de tributação, entre outros.

Atualmente, há vários programas computacionais que atuam como servidores de dados geográficos, alguns proprietários, desenvolvidos por empresas privadas e que demandam custos para aquisição de licenças para uso, e outros livres, que podem ser utilizados sem a necessidade de pagamento por licenças de uso. Entre esses programas computacionais livres para servidor de dados e informações geográficas, destacam-se o GeoServer e o MapServer.

Geotecnologias para visualização, consulta, processamento e publicação de dados e informações geográficas

Os dados geográficos têm o objetivo de representar os elementos do mundo real. Essa representação ocorre por meio de estruturas vetoriais e/ou matriciais, associados a dados alfanuméricos que descrevem as feições geométricas. Por meio da exibição, consulta e processamento de dados geográficos, são produzidas as informações geográficas, que fornecem contexto e significado aos dados, possibilitando o entendimento, análise, delineamento de estratégias, e tomada de decisões na gestão ambiental.

A produção de informações geográficas ocorre por meio de programas computacionais de sistema de informações geográficas, que oferecem ferramentas computacionais que possibilitam a visualização, consulta e processamento de dados geográficos, bem como a publicação de informações geográficas.

Para a gestão ambiental em áreas urbanas, faz-se importante a análise de dados altimétricos. O estatuto das cidades estabelece que não é possível fazer parcelamento do solo para fins urbanos em áreas alagadiças ou sujeitas a inundações, em locais com declividades superiores a 30%, e em locais onde as condições geológicas não favorecem a urbanização.

Os programas computacionais de informações geográficas permitem produzir informações geográficas a respeito das declividades do relevo, possibilitando, assim, a identificação dos locais com declividades superiores a 30%.

Os locais com possibilidade de ocorrência de alagamentos e/ou inundações podem ser identificados por meio do mapeamento do índice de umidade topográfica. Esse índice toma como base o mapeamento altimétrico e estima o balanço entre acúmulo de água e condições de drenagem em escala local, a partir da equação 1 (PEI, et al., 2010, HANCOCK et al., 2010):

$$IUT = \ln \left(\frac{Acc}{\theta} \right) \quad (1)$$

Onde IUT é o mapa do índice de umidade topográfica (adimensional), Acc é o mapa de acumulação de fluxo hídrico (adimensional) e θ é o ângulo de declividade dos relevos.

Além disso, é importante identificar os comprimentos de rampa dos relevos. Quanto maiores os comprimentos de rampas, maiores são as possibilidades de escoamentos hídricos superficiais, que resultam em processos erosivos. Os comprimentos de rampa (LS) podem ser mapeados a partir da aplicação do modelo matemático proposto por Moore e Burch (1986), utilizado por Shiferaw (2011) e Silva (2014), conforme a equação 2:

$$LS = \left(\frac{\text{Fluxo acumulado} \times \text{tam. célula}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{sen(declividade)}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (2)$$

Os locais com altos valores de comprimentos de rampa são mais susceptíveis a processos erosivos, necessitando de preservação da cobertura de vegetação nativa e até intervenções para conservação de solos e recuperação de áreas ambientalmente degradadas.

A ocupação irregular de locais com alto potencial de acumulação hídrica e/ou altos comprimentos de rampa e declividades elevadas, pode acelerar processos erosivos e aumentar a ocorrência de alagamentos, inundações e movimentações de solos, o que pode resultar em áreas de riscos ambientais.

Os programas computacionais de sistemas de informações geográficas possuem ainda ferramentas para a produção de mapas temáticos, além de consultas

geográficas por meio de expressões lógicas e relações topológicas. Além disso, os programas computacionais dispõem de ferramentas computacionais para a publicação de mapas, que podem ser impressos ou digitais, acessados via Internet.

Os programas computacionais de sistemas de informações geográficas também dispõem de ferramentas e funcionalidades para análises de distância, intersecções e uniões espaciais, estatísticas espaciais e geoestatística, entre outras.

Atualmente, há vários programas computacionais para sistema de informações geográficas disponíveis para acesso livre ou proprietários. Entre os programas computacionais livres o QGIS (qgis.org) tem sido amplamente utilizado, em todo o mundo, para as mais diversas aplicações, inclusive para a gestão ambiental em áreas urbanas.

Considerações Finais

Atualmente, há uma grande quantidade de geotecnologias de baixo custo e acesso livre, que podem ser utilizadas pelos municípios para a gestão ambiental em áreas urbanas.

Tornou-se bastante viável que todas as instituições públicas e privadas, que atuam direta e indiretamente na gestão ambiental urbana, produzam e compartilhem seus bancos de dados geográficos, que sejam capazes de fazer a aquisição e atualização desses bancos de dados, e que consigam produzir e publicar informações geográficas que tornam a gestão ambiental rápida e assertiva, utilizando geotecnologias mundialmente consagradas, livres, ou de baixo custo.

No entanto, o elemento mais importante para a gestão ambiental de áreas urbanas é o componente humano. Para a utilização plena das geotecnologias, para todas as atividades e não somente para a gestão ambiental urbana, há necessidade de profissionais capacitados, que em contínuo processo de atualização tecnológica, saibam realizar a modelagem, aquisição, organização, compartilhamento, visualização, consulta, processamento e publicação de dados e informações geograficamente referenciadas.

REFERÊNCIAS

ERCOLI, R. F., VANDEIR R. S. M., & VALÉRIA C. P. Z. Urban Expansion and Erosion Processes in an Area of Environmental Protection in Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil. *Frontiers in Environmental Science* 8: 52. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fenvs.2020.00052/full> (March 6, 2023).

FIGLIARELLI, M. & SANTOS, E. P. Avaliação da Qualidade do Ar na Área Urbana de Frederico Westphalen, RS, através da Determinação de Sr, Zr, Br, Cu e Zn em Amostras de Liqueurs." *Tecno-Lógica* 17(2): 129–35.

HANCOCK, G.R.; MURPHY, D. & EVANS, K.G. Hillslope and catchment scale soil organic carbon concentration: An assessment of the role of geomorphology and

soil erosion in an undisturbed environment. *Canada. Geoderma*, (155):36-45, 2010.

KIM, H. et al. Assessing Urban Water Management Sustainability of a Megacity: Case Study of Seoul, South Korea. *Water* 10(6): 682. <http://www.mdpi.com/2073-4441/10/6/682> (March 6, 2023).

LEAO, S., BISHOP I., & EVANS D. Spatial-Temporal Model for Demand and Allocation of Waste Landfills in Growing Urban Regions. *Computers, Environment and Urban Systems* 28(4): 353–85.

MAGE, D. et al. Urban Air Pollution in Megacities of the World. In *Atmospheric Environment*, Elsevier Ltd, 681–86.

PEI, T.; QIN, C.; ZHU, A.; YANG, L.; LUO, M.; LI, B. & ZHOU, C. Mapping soil organic matter using the topographic wetness index: A comparative study based on different flow-direction algorithms and kriging methods. *Ecological Indicators*, 10:610-619, 2010.

SELBY, M. J. *Hillslope: materials & processes*. Oxford University Press, New York, USA, edition 02, 480 pp., 1993.

SHIFERAW, A. Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the Borena Woreda of South Wollo Highlands, Ethiopia. *Journal of Sustainable Development in Africa*. v.13, n.3, 2011.

SIMKIN, R. D., KAREN C. S., MCDONALD R.I., & JETZ W. Biodiversity Impacts and Conservation Implications of Urban Land Expansion Projected to 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 119(12): e2117297119.

SINGH, R. & DHEERA K. Urban Sprawl and Its Impact on Generation of Urban Heat Island: A Case Study of Ludhiana City. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 47(9): 1567–76.

WALSH, C. J., FLETCHER, T. D., & BURNS, M. J. Urban Stormwater Runoff: A New Class of Environmental Flow Problem ed. Jack Anthony Gilbert. *PLoS ONE* 7(9): e45814. <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0045814> (March 7, 2023).

ZHANG, H., WEI-CHUN M., & XIANG-RONG W. Rapid Urbanization and Implications for Flood Risk Management in Hinterland of the Pearl River Delta, China: The Foshan Study. *Sensors* 8(4): 2223–39. <http://www.mdpi.com/1424-8220/8/4/2223> (March 6, 2023).

CAPÍTULO 11

A integração de dados geográficos para o planejamento urbano sustentável – o que usar e como usar?



Edilson de Souza Bias

Geógrafo, mestre em Geociências (UNESP – Rio Claro – 1998) e Doutor em Geografia (UNESP – Rio Claro – 2003) e Pós-Doutorado em Infraestrutura de Dados Espaciais pela Universidad Ort Uruguay. Atuou com gerente do projeto de implantação do GEOCEB, e como consultor da Diretoria Técnica da Cia Energética de Brasília, no acompanhamento e implantação da integração de todos os sistemas técnicos da empresa. Foi durante 8 anos professor do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Católica de Brasília. Atualmente é professor do Instituto de Geociências – IGD da Universidade de Brasília – UnB. Possui experiências nas áreas de Geociências, com ênfase em Geoprocessamento, Cartografia, Normalização de Dados, Infraestrutura de Dados Espaciais e Classificação de Imagens Baseada em Objetos.



Linda Soraya Issmael

Possui Doutorado em Geografia pela UFRJ (2008), Mestrado em Engenharia Cartográfica pelo IME (2003), Pós-Graduação em Análise, Projeto e Gerência de Sistemas pela PUC RJ (1996) e Graduação em Engenharia Cartográfica pela UERJ (1992). Atualmente é Coronel Engenheira Militar, do Exército, da Reserva e trabalha como Analista Sênior nas áreas de banco de dados geográficos (BDG) e business intelligence na Fundação Habitacional do Exército. Atua nas áreas de modelagem de dados geográficos, BDG, IDE, elaboração de normas técnicas, representação e generalização cartográfica, SIG, cartografia cognitiva.



Abimael Cereda Junior

Geógrafo, Mestre e Doutor em Engenharia Urbana e Especialista em Geoprocessamento, vem atuando como Professor, Consultor e Palestrante na área de Inteligência Geográfica há mais de 20 anos, dedicando-se ao desenvolvimento e transferência de competências em Agricultura Digital, Cidades Inteligentes e Ensino. Sua experiência abrange empresas, universidades e outras Instituições – públicas e privadas – promovendo a integração de tecnologias e as chamadas Geotecnologias. Alavanca na Geografia das Coisas® a Transformação Digital Territorial por meio da Inteligência Geográfica no Brasil, América Latina, Europa e África.

A integração de dados geográficos para o planejamento urbano sustentável – o que usar e como usar?

**Edilson de Souza Bias
Linda Soraya Issmael
Abimael Cereda Junior**

I - Introdução

No Artigo 174 da Constituição Federal do Brasil encontra-se a afirmativa de que o Poder Público é o agente normativo e regulador da atividade econômica, exercendo funções de fiscalização, incentivo e planejamento na forma da lei. O Artigo 182, parágrafos 1º, 2º e 4º da referida Constituição, estabelece que o Plano Diretor (PD) é o instrumento obrigatório para o município executar a política de desenvolvimento e de expansão urbana.

Conforme pode-se extrair de Brasil (2004), o Plano Diretor tem como objetivo organizar o crescimento e o funcionamento do município, e partir do Estatuto da Cidade (Brasil, 2001), tem-se a inclusão das áreas urbanas e rurais, uma vez que o PD deve englobar o território do Município como um todo (§ 2º do Art. 40 do EC). O Plano tem como premissa definir o melhor modo de ocupar os espaços de um município ou região, estabelecendo as áreas para todos os tipos de usos do solo, de forma a manter a sustentabilidade e o equilíbrio ambiental.

A partir desse preâmbulo legal, pode-se afirmar que os desafios da gestão fundiária identificam uma infinidade de problemas vinculados a essa política de ordenamento territorial urbano, os quais vão além da titulação e da posse de lotes, mas, de forma bastante contundente, referem-se às formas de disponibilização, em qualidade e quantidade, à população, de serviços básicos, como: água, esgoto, energia elétrica, drenagem pluvial, transporte, entre outros.

Para além do Território, tais desafios impactam diretamente a chamada "sustentabilidade de áreas urbanas", especialmente quando são defrontados com os objetivos definidos pela ONU - Organização das Nações Unidas para 2030 - ODS-2030, levando à reflexão de como o trabalho é árduo e necessita do envolvimento de todos (sociedade, instituições - públicas e privadas, universidades etc.), bem como, a inserção de técnicas de análise e de integração de dados geográficos e suas dimensões espaciais, ambientais e socioeconômicas.

Entretanto, para a implementação de medidas que permitam realizar um diagnóstico, conhecer parâmetros e delinear medidas, torna-se necessária a existência

de dados. No entanto, somente a existência de dados não irá solucionar os problemas, pois esses devem apresentar qualidade e organização para que a integração não tenha problemas de Consistência, comprometendo os resultados almejados.

Algumas medidas já foram tomadas, como por exemplo a legislação que criou o Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), com a mais recente legislação publicada no Diário Oficial da União a Portaria N° 511 de 7 de dezembro de 2009.

Em torno da importância de um Cadastro Multifinalitário, pode-se analisar em Paraná (2016)

O processo de urbanização e a expansão urbana são importantes e contribuíram para o desenvolvimento e crescimento dos Municípios e do País, de uma forma geral. Mas para que isso acontecesse de uma forma equilibrada, foi preciso à criação ou adequação de instrumentos de política pública a serem utilizados, visto que parte dos gastos públicos são destinados aos objetivos do desenvolvimento urbano e todos os empreendimentos e atividades relacionados a ele.

O cadastro fundiário permite alcançar o conhecimento do espaço geográfico que é fundamental ao desenvolvimento de um país, torna-se às ciências cartográficas imprescindíveis. Registrar graficamente de maneira acurada a realização humana e sua capacidade de intervir na superfície terrestre, modificando-a, é um dos objetivos da cartografia cadastral moderna. O desenvolvimento técnico-científico para a representação da superfície terrestre é um processo complexo, pois existe uma dinâmica tanto dos métodos cartográficos quanto na alteração da paisagem do planeta.

Para atender a multiplicidade de dados atualmente gerados é necessário que exista padronização, tanto na aquisição, na estruturação, na edição e no armazenamento desses dados, para garantir o compartilhamento, interoperabilidade e sua disseminação.

Diante desse quadro, e, notadamente pela preocupação que movimentava toda a cadeia de produtores de geodados, surge na Rio-92 (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento) a discussão sobre a significativa produção de informações geográficas, e o desafio de se obter condições de organização para que todos esses dados suportem as necessidades da sociedade, em especial nos dias atuais devido ao grande volume de dados (Big Data) e Serviços Web (YINGJIE, 2016).

Observa-se que Davis et al. (2005) já descreviam as dificuldades encontradas no intercâmbio de dados e, nesse artigo, traçam uma linha teórica sobre as formas e os mecanismos que devem ser observados na busca da integração e, conseqüentemente, da interoperabilidade de dados espaciais.

Das discussões da Rio 92, surge o conceito de Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE). Silva Filho & Frank (2016) descrevem as conclusões da conferência, que representou um passo importante e decisivo para um novo posicionamento em relação à organização, gestão e divulgação de dados espaciais.

Os anos noventa ficaram marcados como um período muito intenso para a construção de Infraestruturas de Dados Espaciais, que têm por parte da GSDI

(2009) a definição de uma IDE como um conjunto de tecnologias, políticas e mecanismos institucionais, facilitadores da disponibilização e acesso aos dados geoespaciais produzidos no âmbito de cada país.

Entretanto, antes deste período, em 1986, Portugal estudava a criação do SNIG - Sistema Nacional de Informação Geográfica, e com Mclaughlin & Nichols (1994) tem-se pela primeira vez o aparecimento do termo SDI (Spatial Data Infrastructure - Infraestrutura de Dados Espaciais). Os Estados Unidos da América iniciaram a NSDI (National Spatial Data Infrastructure) em 1997 e a Europa a INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) em 2007.

No Brasil, tem-se o ponto de partida das IDE por meio do Decreto 6.666/2008, estabelecendo desde então normas e padrões para a integração e disponibilização de todo e qualquer dado geoespacial produzido pelas instituições públicas com a criação da INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais), prevendo:

I - Promover o adequado ordenamento na geração, no armazenamento, no acesso, no compartilhamento, na disseminação e no uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal, em proveito do desenvolvimento do País;

II - Promover a utilização, na produção dos dados geoespaciais pelos órgãos públicos das esferas federal, estadual, distrital e municipal, dos padrões e normas homologados pela Comissão Nacional de Cartografia - CONCAR;

III - Evitar a duplicidade de ações e o desperdício de recursos na obtenção de dados geoespaciais pelos órgãos da administração pública, por meio da divulgação dos metadados relativos a esses dados disponíveis nas entidades e nos órgãos públicos das esferas federal, estadual, distrital e municipal.

IV - Planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;

V - Oferta de equipamentos urbanos e comunitários, transporte e serviços públicos adequados aos interesses e necessidades da população e às características locais;

Em BRASIL (2010), pode-se destacar a afirmativa que a Infraestrutura de Dados Espaciais – IDE deve ser entendida como vital para a constituição de infraestruturas informacionais estratégicas para a sociedade, permeando os sistemas de informações de planejamento governamentais e potencializando a gestão da informação e conhecimento.

Os benefícios de uma IDE são destacados por Rajabifard et al. (1999); Rhind, 2001. Quanto aos conceitos, foram relacionados por Masser, 1998, 2005, 2007; Williamson et al., 2003; Rajabifard et al (2002) e Crompvoets et al. (2004).

Muito se tem falado sobre a importância do uso do Geoprocessamento como elemento integrador e eficiente em estudos de planejamento urbano. Na mesma proporção, consideramos relevante a discussão sobre a importância da organização e normalização dos dados que serão utilizados, conforme se pode depreender do texto abaixo:

O grande instrumento viabilizador da nova proposta de planejamento é o desenvolvimento das técnicas de geração e análise de informação espacial, ou

seja, as técnicas de geoprocessamento. Essas técnicas permitem superar a visão parcial que o homem tem do mundo, através da capacidade de conhecer e acompanhar o movimento da natureza e da sociedade, e integrar as mais diversas fontes de informação, fornecendo as bases científicas para um novo plano de desenvolvimento urbano. (FARINA, 2006)

No Brasil, a dificuldade de compatibilização para um padrão único de estrutura de dados geoespaciais e a preocupação em estabelecer novas normas para a cartografia digital trouxe à tona a necessidade da criação de padrões para o intercâmbio de dados cartográficos digitais no âmbito das organizações governamentais, de modo a validar o dado geográfico produzido, em relação às regras topológicas, e estruturá-lo segundo categorias e feições geográficas (CONCAR, 2017).

Maranhão e Carneiro (2016) apontam que para atingir os objetivos desejados em uma IDE, a Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), no contexto da INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais, elaborou padrões que são estruturados conforme mostrado no Quadro 1:

Especificação Técnica (ET)	Função
EDGV – Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais	Padrão a ser usado por todos que contratam, produzem e fiscalizam dados vetoriais que fazem parte do Sistema Cartográfico Nacional (SCN).
ADGV - Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais	Padrão a ser utilizado pelos produtores de dados geoespaciais que fazem parte do SCN. Garante a organização topológica dos dados e consequentemente facilita as análises espaciais.
PCDG - Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais	Padrão que define os metadados de produtos de conjuntos de dados geoespaciais que fazem parte do SCN.
CQDG - Controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais	Padronização dos processos de avaliação de qualidade dos produtos de conjuntos de dados geoespaciais que fazem parte do SCN.
RDG - Representação de Dados Geoespaciais	Padrão que define as simbologias para os dados geoespaciais que fazem parte do SCN.
Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (Perfil MGB 2.0)	Padrão que estrutura os metadados de produtos de conjunto de dados geoespaciais que fazem parte do SCN no âmbito da INDE.

Quadro 1 – Especificação Técnica e Função

Pode-se encontrar em CONCAR (2017) a demonstração da preocupação com a atual demanda por informação geoespacial:

A demanda por informação geoespacial na sociedade atual tem crescido exponencialmente. Os dados necessitam ser gerados segundo padrões e especificações técnicas que garantam o compartilhamento, a interoperabilidade e a disseminação, fundamentais em uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE). Diante desta realidade a CONCAR, sensível a esta necessidade, constituiu Comitês Especializados, a fim de elaborar propostas para subsidiar a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais do Brasil (INDE Brasil).

A ET-EDGV (2010) define modelo de dados como um conjunto de conceitos que podem ser usados para descrever a estrutura e as operações em banco de dados, sendo também necessário para isso construir uma abstração dos objetos e fenômenos do mundo real que seja adequada às finalidades pretendidas. Segundo Burrough e Frank (1995), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e seus modelos de dados geográficos devem refletir a maneira como as pessoas veem o mundo.

Para isso, pode-se apropriar o conceito de Ontologia para a Informação Geoespacial que, conforme Guarino (1998), não somente deve representar explicitamente conceitos e relações abstraídos a partir da realidade formal, permitindo a notação numérica usando gramáticas simbólicas, mas principalmente favorecer a interoperabilidade e o compartilhamento de conhecimento entre diferentes aplicações – como o planejamento urbano sustentável.

Se Claramunt (2020) afirma que a Ontologia Geoespacial oferece recursos fundamentais para remodelar a informação geoespacial, pode-se aqui afirmar que o que se busca no contemporâneo vai além das camadas (layers) e justaposição de imagens: a criação de modelos de dados e especificações técnicas em um contexto geodata-driven, ou seja, tomada de decisões a partir do uso e análise de dados geográficos para o Planejamento e Gestão Sustentáveis.

II - Os modelos propostos pelas Especificações Técnicas

CONCAR (2017) especifica que os dados geoespaciais do mapeamento terrestre produzidos pelos órgãos federais integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN), a princípio, serão considerados como dados oficiais de referência do país, e serão incorporados automaticamente à INDE. Os dados de referência, elaborados por outros produtores, somente serão incorporados à INDE na condição de dados oficiais se tiverem sido analisados e homologados por uma autoridade com competência técnica para tal. Essa auditoria técnica deve verificar a compatibilidade dos dados com os padrões estabelecidos para o SCN e consequentemente para a INDE.

A adoção dessas especificações permite a manutenção da integridade estrutural e de qualidade dos dados e, consequentemente, a interoperabilidade deles. O uso dos dados pelos vários participantes da INDE independe de plataformas de aplicativos e implica em significativa economia de tempo e otimização de recursos públicos e privados.

No contexto da ET-EDGV 3.0, versão mais atual da estrutura de dados nacional, do ano de 2017, os dados de referência que compõe as bases cartográficas receberam as seguintes denominações:

- Dados do Mapeamento Topográfico em Pequenas Escalas (MapTopoPE): quando elaborados para atender as escalas de visualização de 1:25.000 e

menores. Nas versões anteriores dessa especificação, o MapTopoPE era denominado de Cartografia Básica, gerado no mapeamento sistemático do SCN; e

- Dados do Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas (MapTopoGE): quando elaborados para atender as escalas de visualização maiores que 1:25.000 até 1:1.000. O MapTopoGE, no âmbito das prefeituras municipais, é denominado por Cartografia Cadastral. Dessa forma, é possível diferenciar os dados de referência destinados à elaboração de produtos oriundos dos dados temáticos propriamente ditos, como por exemplo os gerados nos processos de planejamento urbano, de cadastramento imobiliário e de endereçamento.

Ainda de acordo com CONCAR (2017), a modelagem da base cartográfica nacional está estruturada em nove categorias de informação para o Mapeamento de Pequenas Escalas e cinco, para o Mapeamento de Grandes Escalas, identificadas na Figura 1, que visualiza a futura estrutura de dados do Banco de Dados Geográficos do Exército - BDGEX (DSG, 2021), onde estão sendo migrados os dados da versão 2.1.3, da Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais, para a versão 3.0. O MapTopoPE, representa o Mapeamento de Pequenas Escalas da ET-EDGV 3.0, no BDGEX da DSG e o MapTopoGE, o mapeamento em Grandes Escalas da mesma Especificação Técnica. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os temas que são abordados no Map TopoPE, no Map TopoGE e, finalmente, na Figura 4 os dados do BCIM - Base Contínua do Brasil ao Milionésimo.

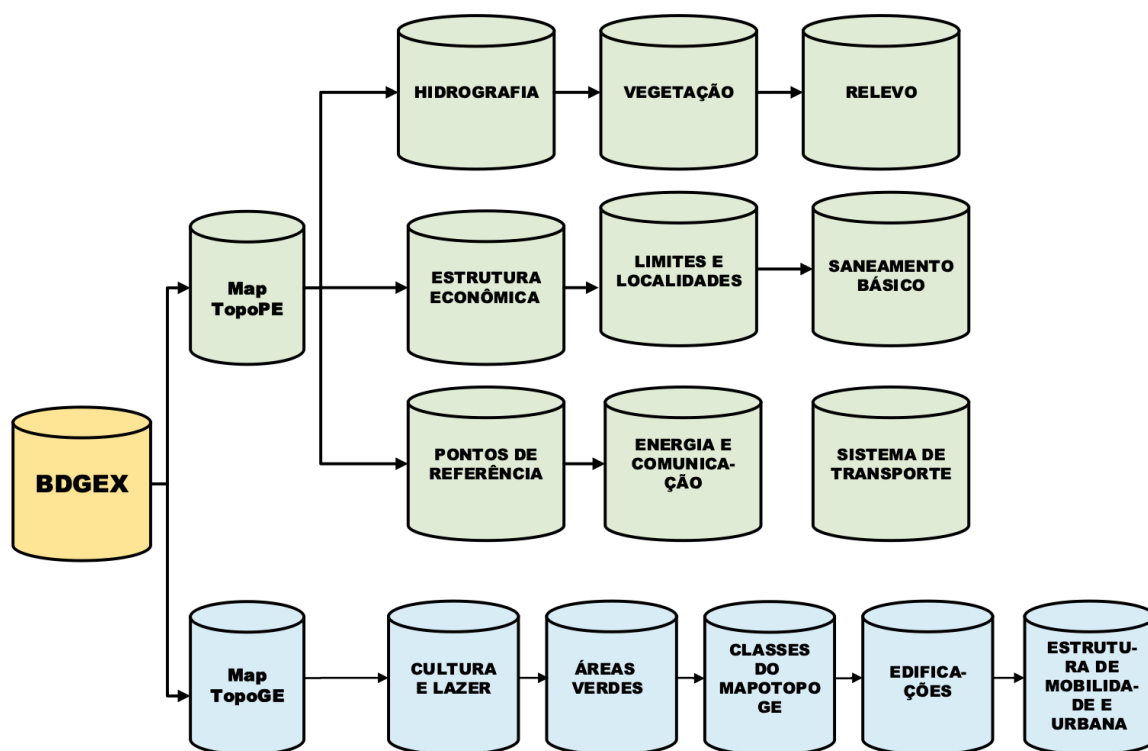


Figura 1 – Estrutura da nova organização de dados do BDGEX, da DSG, de acordo com a ET-EDGV 3.0. Fonte: elaborado pelos autores.

	VEGETAÇÃO	
	Extrativismo Mineral Plataforma Equipamento Agropecuário Vegetação Natural Vegetação Cultivada Campo, Cerrado, Caatinga, Campinarana, Vegetação de Restinga, Mangue, Brejo/ Pântano, Floresta Reflorestamento	
HIDROGRAFIA	BDGEX	RELEVO
Trecho de Drenagem Massa D'Água Terreno Sujeito à Inundação Área Úmida, Canal e Vala Barragem Comporta Queda D'Água, Corredeira e Foz Marítima Sumidouro/ Vertedouro Fonte d'Água Ilha, Rocha em Água, Recife Banco de Areia, Quebra mar/ Molhe, Dique	MapTopoPE	Elemento Fisiográfico Natural Dolina, Duna, Gruta, Caverna, Rocha, Pico e Arquipélago Alteração Fisiográfica Antrópica Corte e Aterro Isolinha Hipsométrica Curva de Nível, Curva Batimétrica Ponto Hipsométrico Ponto Cotado Altimétrico e
ESTRUTURA ECONÔMICA	LIMITES E LOCALIDADES	SANEAMENTO BÁSICO
	Área Político-Administrativa País, Unidade da Federação, Município, Distrito Localidade Capital, Cidade, Vila, Aglomerado Rural Terra Pública, Unidade Protegida Área Urbana Isolada Área Densamente Edificada Nome Local	Barragem/ Calçada Complexo de Abastecimento de Água Complexo de Saneamento Depósitos de Abastecimento de Água e Saneamento
PONTOS DE REFERÊNCIA	ENERGIA E COMUNICAÇÃO	SISTEMAS DE TRANSPORTE
Marco de Limite Ponto Geodésico Topográfico de Controle Ponto de Referência Geodésico e Topográfico Estação de Medição de Fenômenos Ponto Estação de Medição de Fenômenos	Aerogerador Antena de Comunicação Central Geradora Eólica Complexo Gerador de Energia Elétrica (EE) e Comunicação Hidrelétrica, Termelétrica Grupo de Transformadores Torres de Comunicação e Energia Subestação Trechos de Comunicação e Energia	Trecho Rodoviário Estação Rodoviária Trecho Ferroviário Estação Ferroviária Estação Metroviária Complexo Portuário Trecho Hidroviário Atracadouro, Terminal, Fundeadouro Obra de Arte Viária Trecho Duto Galeria, Bueiro Complexo Aeroportuário Pista de Pouso Obra de Arte Viária Travessia, Trilha, Caminho Pátio

Figura 2 – Mapeamento de Pequenas Escalas (MapTopoPE) da ET-EDGV 3.0, no BDGEx da DSG.
 Fonte: elaborado pelos autores.

BDGEX - MapTopoGE

CULTURA E LAZER

- Sítio Arqueológico, Ruínas
- Pista Competição, Arquibancada
- Complexo Desportivo, Complexo Recreativo
 - Piscina
 - Campo, Quadra
- Depósitos de Abastecimento de Água e Saneamento

EDIFICAÇÕES

Edificação
Edificação de Ensino, Religiosa, de Saúde
Edificação Residencial
Habitação Indígena
Edificação Abastecimento de Água e de Saneamento
Posto Polícia Militar, da Polícia Rodoviária, Edificação de Polícia, Posto Fiscal, Posto da Guarda Municipal
Edificação Lazer
Banheiro Público
Posto Combustível
Edificação Comércio Serviço, Industrial, Extração Mineral, Agropecuária, Extrativismo Vegetal e Pesca
Edificação Rodoviária, Metro Ferroviária, Portuária, Aeroportuária
Edificação Comunicação, Energia
Edificação Estação de Medição de Fenômenos

ÁREA VERDE

Área Verde
Árvore Isolada
Jardim

ESTRUTURA DE MOBILIDADE URBANA

Acesso, Rampa,
Escadaria, Elevador
Terminal Rodoviário
Terminal Ferroviário
Terminal Hidroviário
Poste e Sinalização

CLASSES DO MAPTOPOGE

Complexo Habitacional
Área Construída
Espelho D'Água
Cemitério
Poste
Largo, Praça, Estacionamento
Ponte, Túnel, Passagem Elevado,
Viaduto
Assentamento Precário
Área Habitacional, Área de Propriedade Particular, Área Agropecuária, Extrativismo Vegetal, Pesca
Quadra
Arruamento, Entroncamento, Passeio, Travessia Pedestre, Canteiro Central

Figura 3 – Mapeamento de Grandes Escalas (MapTopoGE) da ET-EDGV 3.0, no BDGEx, da DSG. Fonte: elaborado pelos autores.

Em uma versão anterior da ET-EDGV, a 2.1.3, do ano de 2016, a Base Cartográfica Contínua do Brasil, ao Milionésimo – BCIM, de acordo com IBGE (2016), está estruturada em nove categorias de informação, identificadas na Figura 4 a seguir, conforme a Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV) versão 2.1.3.

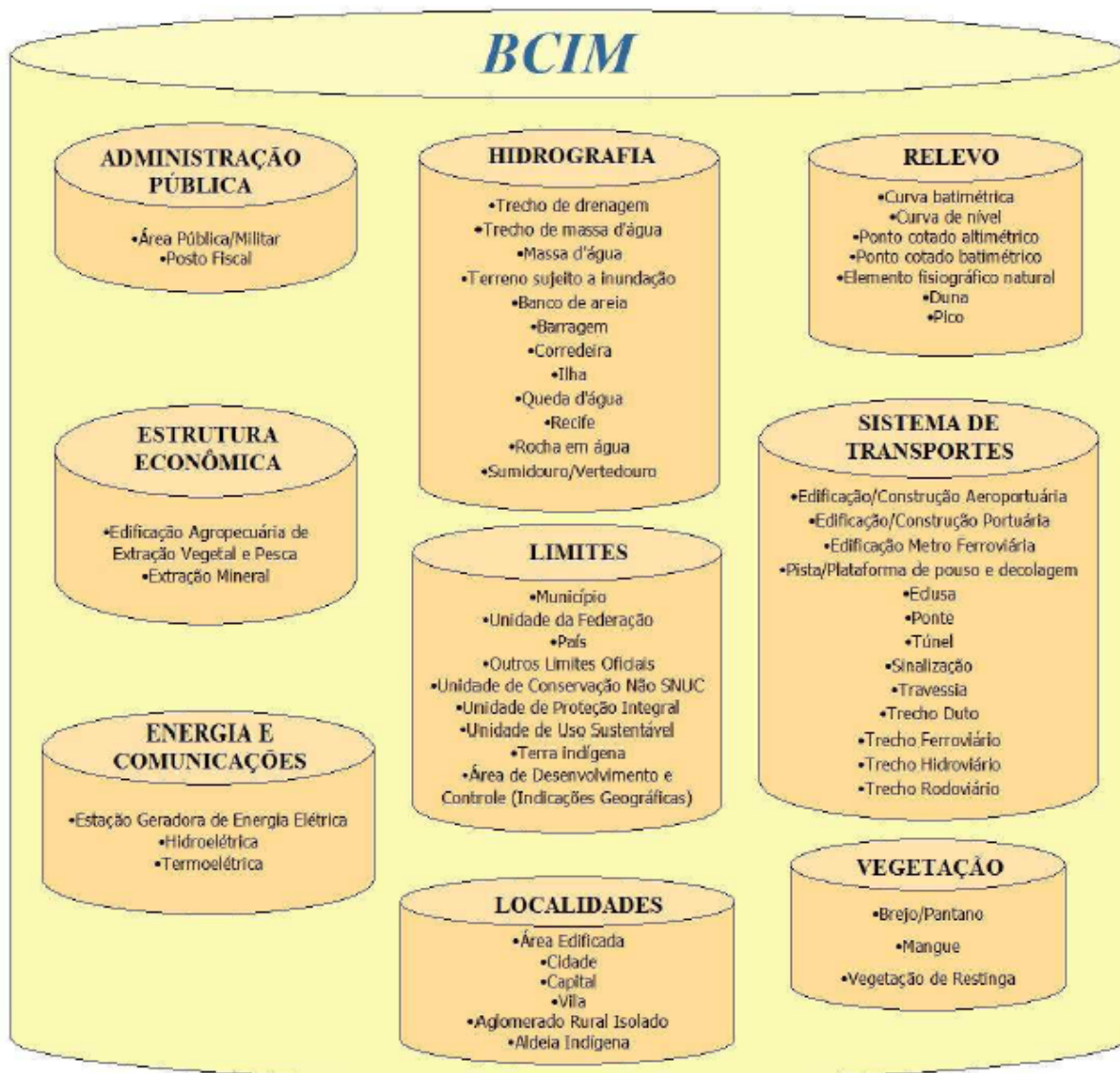


Figura 4 – A estrutura de dados da Base Cartográfica Contínua do Brasil, ao Milionésimo – BCIM, do IBGE, na ET-EDGV 2.1.3. Fonte: IBGE (2016)

A documentação da BCIM ainda apresenta características como:

1. CONTROLE DE QUALIDADE - A acurácia de um mapa é vinculada a conformidade do conjunto de dados espaciais ao terreno nominal (especificações técnicas) (Longley et al., 2013).

2. VALIDAÇÃO CARTOGRÁFICA (GEOMÉTRICA) - Na validação da consistência cartográfica, os valores de tolerância utilizados foram de 250m ou 0,25km, recomendados pelo Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC do SCN, admitindo-se para a escala de 1:1.000.000 um erro médio de 500m. Quanto à resolução espacial altimétrica utilizou-se o valor de 1/2 equidistância, 100m, definido conforme resolução de 1984 da CONCAR. A validação geométrica objetivou detectar condições inválidas de geometria que poderiam causar inadequações e inconsistências

nas análises espaciais, mapeamentos temáticos e consultas. Cada anomalia descoberta foi identificada e prontamente corrigida.

3. VALIDAÇÃO TOPOLÓGICA - A validação da estrutura topológica dos elementos que compõem as categorias de informação da BCIM, objetiva garantir sua utilização em Sistema de Informação Geográfica – SIG e outros sistemas de informação, nos quais a componente posicional/espacial é essencial.

4. METADADOS - Os Metadados descrevem, documentam e organizam, de forma sistemática e estruturada, os dados das organizações, facilitando seu compartilhamento e manutenção. Disciplinam a sua produção, armazenamento e orientam a sua utilização nas diversas aplicações dos usuários.

Pode-se observar que o problema da qualidade de dados não está vinculado à falta de especificações, mas sim a sua falta de aplicação na normalização dos dados, o que leva a grandes dificuldades de integração de dados, necessários à geração de informações para a tomada de decisões mais acuradas pelos gestores públicos, pois mesmo na IDE nacional - INDE, que deveria ser o repositório de maior qualidade, ainda se encontra dados que apresentam dificuldades de utilização pela sua baixa qualidade.

III - A importância e os processos

Nesta seção serão apresentados alguns exemplos de processos de normalização de dados que tiveram como base as Especificações Técnicas de produção e dados geoespaciais no contexto brasileiro.

Normalização e modelagem de dados geográficos: o caso do DER-PB

De acordo com Pinheiros de Sousa et al. (2017), o objetivo do trabalho foi:

apresentar uma metodologia de normalização e modelagem de dados espaciais de acordo com os parâmetros de armazenagem e manipulação definidos pela ET-EDGV, usando como base os dados referentes às rodovias e obras rodoviárias do Departamento de Estradas e Rodagem do Estado da Paraíba (DER-PB), de forma a contribuir com a organização, preservação e integração de dados geoespaciais heterogêneos de acordo com as diretrizes estabelecidas pela INDE.

Os autores concluíram que:

O método adotado neste trabalho pode ser utilizado por qualquer instituição que pretenda realizar a padronização de dados em conformidade com a ET-EDGV, favorecendo assim a cooperação entre sistemas e o intercâmbio de dados, a não redundância através da normalização e a adição de restrições de integridade espaciais semânticas e topológicas através do modelo de dados OMT-G.

Diante do exposto, pode-se concluir que a implementação de um BDG se torna imprescindível no âmbito dos sistemas de geoinformação, principalmente no que diz respeito à padronização de estruturas de dados e disponibilização da informação geográfica de forma aberta.

A importância da estruturação e padronização de dados espaciais – Caso IDE/SPU

A Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União (SPU) faz parte do Ministério da Economia e administra o Patrimônio Imobiliário da União, que tem papel essencial na estratégia de desenvolvimento do país na medida em que provê o insumo fundamental – espaço físico – para assentamento das ações e projetos de interesse público (Ministério da Economia, 2020).

De acordo com a SPU (2022), desde que a Secretaria se mobilizou para criar a estruturação da sua geoinformação, a normatização foi destaque e premissa para todas as outras etapas que viriam a seguir. O início do processo foi revisitar toda a documentação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), especialmente as especificações técnicas desenvolvidas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A realização desse detalhado estudo possibilitou conceber e viabilizar a denominada **Infraestrutura de Dados Espaciais da SPU (IDE/SPU)**.

Os produtos gerados pela SPU com essa remodelagem do ambiente de informações foram os seguintes:

- definição e normatização dos padrões para produção e aquisição da geoinformação na SPU (ET-EDGV e ET-ADGV/SPU);
- definição e normatização do perfil de metadados geoespaciais da SPU;
- modelagem e implementação de um repositório único da geoinformação, baseado em banco de dados geoespaciais (BDG);
- definição de controles para validação topológica, visando a garantia da qualidade da geoinformação;
- definição das metodologias de conversão da geoinformação analógica para digital; e
- disponibilização de curso EAD em geoinformação para amplo público, disponível na Escola Virtual de Governo da ENAP.

O conjunto dessas ações visa permitir a implantação e plena utilização de uma infraestrutura unificada de dados geoespaciais, através de um ambiente de geoinformação moderno e dinâmico para a gestão dos bens imobiliários da União.

O Desafio

A SPU possui arquivos em diferentes formatos vetoriais, com estruturas e

padrões diversos que foram realizados por distintas empresas. Todos esses dados foram concluídos antes da normalização do padrão imposto pela SPU. Como não existia um padrão oficial do órgão, cada empresa contratada entregou os dados seguindo o Sistema de Referência adotado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) na época de sua confecção; cada qual com padrões de representação de formas diferentes. Essa prática comum gerou uma demanda pela conversão desses dados vetoriais e matriciais em um sistema único, que pudesse ser armazenado em um Banco de Dados Geográfico integrado, seguindo a padronização de seus elementos. O desafio do Grupo Zago foi organizar, estruturar e padronizar esses dados geoespaciais, corrigindo todos os arquivos vetoriais para que se enquadrassem no padrão exigido pelo órgão.

A Solução

O Grupo Zago organizou tais arquivos, primeiro, separando-os por trecho de representação, e, segundo, extraindo os dados vetoriais, convertendo-os para o formato Shapefile. Após a conversão, aplicou-se as correções topológicas aos erros originados do próprio arquivo vetorial e erros gerados pela junção de diversas cartas cadastrais. A próxima etapa foi estruturar e padronizar os arquivos de acordo com as ET-EDGV (Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais) do Patrimônio Imobiliário Público Federal, definida pela Portaria no 88 de 31/05/2017, em consonância com a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais). Por fim, os dados foram armazenados em um Banco de Dados Geográficos.

A estrutura de dados final contemplou as seguintes categorias de informação:

Seção do Anexo A	Categoria	Definição
Seção 1	Energia e Comunicações (ENC)	Representa as estruturas associadas à geração, transmissão e distribuição de energia, bem como as de comunicação.
Seção 2	Hidrografia (HID)	Representa o conjunto das águas interiores e oceânicas da superfície terrestre, bem como elementos, naturais ou artificiais, emersos ou submersos, contidos nesse ambiente.
Seção 3	Relevo (REL)	Representa a forma da superfície da Terra e do fundo das águas tratando, também, os materiais expostos, com exceção da cobertura vegetal.
Seção 4	Vegetação (VEG)	Representa, em caráter geral, os diversos tipos de vegetação natural e cultivada.
Seção 5	Sistema de Transporte (TRA; AER; DUT; FER; HDV; ROD)	Agrupa o conjunto de sistemas destinados ao transporte e deslocamento de carga e passageiros, bem como as estruturas de suporte ligadas a estas atividades.
Seção 6	Limite Político Administrativo e Localidades (LPAL)	Representa os distintos níveis político-administrativos e os diversos tipos de concentração de habitações humanas.
Seção 7	Pontos de Referência (PTO)	Agrupa as classes de elementos que servem como referência a medições em relação à superfície da Terra ou de fenômenos naturais

Quadro 1 - Categorias de Informações da MapTopoPE.

Seção do Anexo A	Categoria	Definição
Seção 1	Mobiliário Urbano (MUB)	Categoria que agrupa objetos e pequenas construções que ocupam um espaço sobre calçadas, atendendo a um objetivo estético, funcional ou ambos.
Seção 2	Classes Base (CBC)	Categoria que reúne as classes consideradas básicas e de uso comum na Cartografia Cadastral ou Mapeamentos Topográficos de Grandes Escalas.

Quadro 2 - Categorias de Informações da MapTopoGE.

Seção do Anexo A	Categoria	Definição
Seção 1	Imóvel (IMV)	Categoria que agrupa os diferentes tipos de imóveis (terrenos e benfeitorias) no contexto urbano e rural inseridos em terras da União.
Seção 2	Área do Patrimônio Público Federal (APP)	Categoria que agrupa as áreas de propriedade da União e estão sob gestão da Secretaria do Patrimônio Público - SPU.
Seção 3	Limite Patrimônio Público Federal (LPP)	Categoria que agrupa as linhas delimitadoras das áreas de propriedade da União e estão sob gestão da Secretaria do Patrimônio Público - SPU.

Quadro 3 - Categorias de Informações da CT-SPU.

O Quadro 3 descreve as categorias temáticas adotadas para atender às demandas espaciais de interesse da SPU, cuja estrutura é usada também para atividades de planejamento urbano.

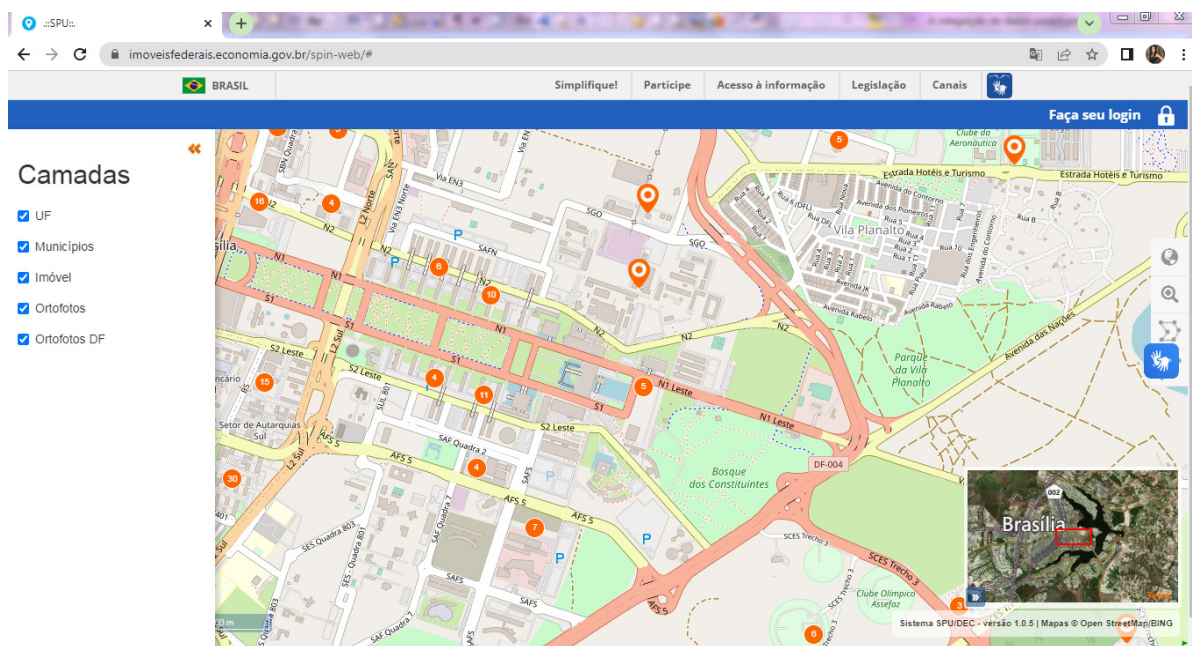


Figura 5 – Consulta a imóveis federais ocupados em Brasília/ DF: tipo de análise espacial que evidencia a ocupação do espaço urbano, na IDE/SPU.

Estruturação de dados geoespaciais municipais para o planejamento metropolitano: caso da Infraestrutura Municipal de Dados Espaciais da cidade de Salvador – IDE SALVADOR

De acordo com a PMS (2019), a Companhia de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Salvador – CONDER, empresa pública vinculada à Secretaria Estadual de Desenvolvimento Urbano, tem apresentado a necessidade de criar uma infraestrutura de dados geoespaciais para dar suporte às atividades de planejamento metropolitano e à elaboração de programas e projetos de abrangência regional relacionados a Região Metropolitana de Salvador – RMS e seus oito municípios abrangentes, desde a sua criação em 1973.

No ano de 2013, com o advento do Decreto nº 24.672, de 20 de dezembro de 2013, foi criado o Grupo de Trabalho para especificar e elaborar o Projeto Básico do Cadastro Multifinalitário do Município do Salvador, coordenado por um representante da SEFAZ, auxiliado por representantes dos órgãos sistêmicos da Prefeitura Municipal do Salvador - PMS. A partir daí foi elaborado um Projeto Básico para dotar o Município de Salvador de uma Cartografia de excelência e um Conjunto de Dados Geoespaciais Vetoriais – CDGV fundamental e inovador como plataforma de dados, baseado em padrões nacionais e internacionais, para uso em ambiente tecnológico, e interoperável, corporativo de geotecnologias. Contratado e iniciado o Projeto de Mapeamento Cartográfico de Salvador, a SEFAZ realizou, entre agosto de 2016 e fevereiro de 2017, o Aerolevante Fotogramétrico, para construir os dados geoespaciais em escala de 1:1.000 dos 415Km² da região do Município de Salvador, adotando a estrutura dos dados geoespaciais da ET-EDGV Salvador, baseada na norma nacional publicada para consulta pública, posteriormente homologada como ET-EDGV 3.0, além dos requisitos de qualidade considerados fundamentais.

A versão mais atual dessa norma foi lançada em 2019, a ET-EDGV Salvador versão 1.1, versão estendida da ET-EDGV 3.0, totalmente adequada às necessidades da Prefeitura de Salvador e aderente à INDE.

Cabe ressaltar que a ET-EDGV Salvador foi uma das fontes iniciais para estruturação do Mapeamento Topográfico para Grandes Escalas (MapTopoGE), da ET-EDGV 3.0.

A partir dessa estrutura de dados, foram gerados produtos cartográficos tais como:

- Ortoimagens do continente e área insular (resolução espacial de 10 cm e resolução radiométrica de 16 bits);
- Nuvem de Pontos a partir de perfilamento a laser (geradas de 4 a 12 pontos/m²);
- Modelo Digital de Superfície – MDS;

- Modelo Digital de Terreno – MDT;
- Conjunto de Dados Geoespaciais Vetoriais – CDGV (por restituição estereofotogramétrica digital com Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC A); e
- Rede de Referência Cadastral do Município revisada conforme padrões estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

O CDGV é um produto resultante da restituição estereofotogramétrica, que consiste no Banco de Dados Geográficos – BDG da Cidade de Salvador seguindo as normas de estruturação de dados ET-EDGV SALVADOR e a norma de aquisição de dados ET-ADGV Defesa. A ET-EDGV define as categorias, classes de objetos e respectivos atributos, enquanto as regras gerais para a construção das geometrias e as regras topológicas mínimas são observadas de acordo com a ET-ADGV. Esse conjunto de dados é qualificado de acordo com a norma CQDG, com a verificação dos elementos de qualidade referentes à acurácia posicional, completude, consistência lógica e acurácia temática.

Ainda de acordo com a PMS (2019), a ET-EDGV SALVADOR versão 2019 descreve o modelo conceitual propriamente dito e as especificações técnicas complementares para aquisição de dados geoespaciais de objetos específicos da Cidade de Salvador, ainda não encontrados na ET-ADGV Nacional 2.1.3. Os dados geoespaciais do Mapeamento Topográfico de Grandes Escalas (MapTopo-GE) do Município de Salvador, gerados a partir dessa norma, estimulam a produção de outros dados geoespaciais temáticos referenciados a esses, que atendem as demandas de planejamento regional dos órgãos e entidades da Administração Municipal.

Os sistemas informatizados, produzidos no âmbito da Administração Municipal, adotaram a estrutura de categorias e classes de objetos que compõem a ET-EDGV SALVADOR como referência, visando interoperar padrões de dados entre os sistemas de informações convencionais e os sistemas de informações geográficas, garantindo o compartilhamento, a interoperabilidade e a disseminação de dados geoespaciais oficiais.

A PMS adota os padrões nacionais da INDE de metadados, e de qualidade e aquisição de dados geoespaciais.



Figura 6 – Exemplo da integração de dados geospaciais para planejamento urbano da Prefeitura de Salvador, no âmbito da IDE-Salvador.

IDE SEUMA Fortaleza: desenvolvimento de infraestrutura de dados espaciais para atender o Projeto Fortaleza Cidade Sustentável - FCS

O lançamento do Projeto Fortaleza Cidade Sustentável, de acordo com a PMF (2023) foi realizado em convênio com o Banco Mundial e autorizado pelo Ministério do Planejamento, em 11 de fevereiro de 2016, reunindo uma série de iniciativas que significam avanços importantes para a capital do Ceará.

Tais iniciativas incluem a promoção da integração do ambiente natural e do ambiente construído na cidade de Fortaleza, impactando de forma positiva a saúde ambiental e a segurança urbana da população, por meio de investimentos estruturantes integrados em infraestrutura urbana e ambiental, e do fortalecimento da capacidade de planejamento urbano e gestão municipal.



Projeto Fortaleza Cidade Sustentável (FCS)

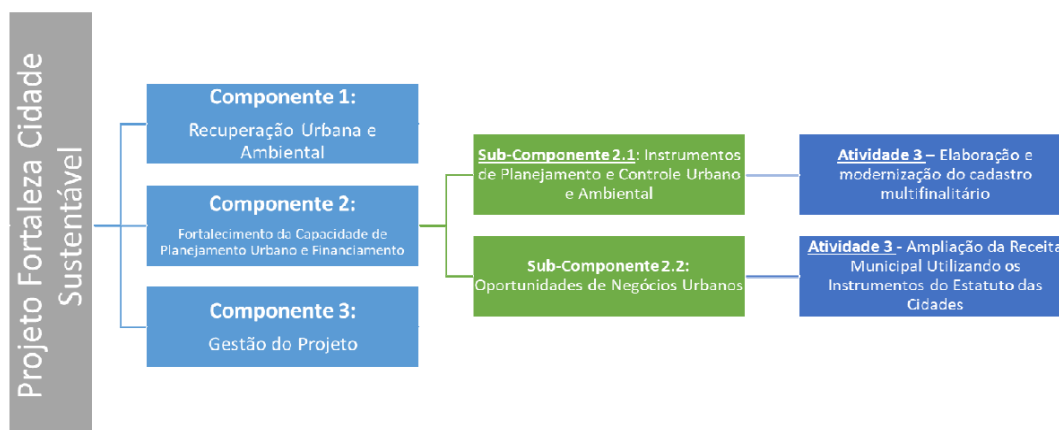


Figura 7 – Componente e Atividades do Projeto Fortaleza Cidade Sustentável.

Nesse contexto, a Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA), baseada nos componentes e atividades da estrutura do Projeto (Planejamento Urbano e Modernização do Projeto do Cadastro Multifinalitário), como é possível verificar na Figura 7, identificou a necessidade de atualizar e estruturar os dados geoespaciais do município e, desde 2022, vem desenvolvendo, no âmbito desse Projeto, a construção da Infraestrutura de Dados Espaciais da SEUMA – Fortaleza (IDE SEUMA – Fortaleza).

A implantação da IDE SEUMA de Fortaleza busca promover o adequado ordenamento da geração, armazenamento, acesso e compartilhamento de dados geoespaciais produzidos pela SEUMA, que impulsionará as atividades vinculadas ao planejamento urbano de Fortaleza e sua sustentabilidade.

Está previsto o desenvolvimento de um Geoportal, permitindo que os usuários possam encontrar, visualizar, utilizar e combinar visualmente as informações geoespaciais, de modo a atender às suas necessidades.

A construção dessa IDE resolverá problemas dos dados geoespaciais do município, que são:

- Grande quantidade de dados geoespaciais e não geoespaciais produzidos pela SEUMA;
- Dados não padronizados e dispersos;
- Dificuldade de acesso aos dados geoespaciais
- Redundância de dados e esforços;
- Dados ultrapassados ou com dificuldade de reconhecimento da versão atual; e
- Necessidade de dar publicidade e transparência aos dados geoespaciais.

Além disto, a IDE irá promover:

- E garantir o uso da tecnologia da informação para auxiliar tomadas de decisão, no planejamento e gestão urbana da cidade, integrando os diferentes setores da sociedade;
- A qualificação das informações cadastrais para a emissão imediata dos serviços do Fortaleza Online;
- Dados acessíveis e utilizáveis para a Prefeitura Municipal de Fortaleza, universidades e instituições de pesquisa, mas, sobretudo para o público em geral e a sociedade civil;
- O controle na manutenção, padronização e publicidade dos dados geoespaciais;

- E garantir o acesso à informação (transparência);
- O agregamento das camadas temáticas, possibilitando diversas análises espaciais;
- A modernização da gestão pública; e
- E garantir interoperabilidade de plataformas.

IDE-Aracaju: infraestrutura em desenvolvimento que disponibilizará geoinformação padronizada para a implantação do Sistema para Cadastro Territorial Multifinalitário do Município de Aracaju (SE)

De acordo com a PMA (2023), devido a necessidade de modernizar a base de dados geoespacial de Aracaju e criar um Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), que contribuirá para o monitoramento contínuo da cidade e a geração de uma infraestrutura de dados geoespaciais robusta sobre o município, foi lançado, em 2022, o Projeto Infraestrutura de Dados Espaciais de Aracaju (IDE – Aracaju), que está sendo desenvolvido pela Prefeitura de Aracaju, por intermédio da Secretaria Municipal da Fazenda (SEMFAZ), a fim de tornar a capital sergipana uma cidade ainda mais inteligente e sustentável.

A iniciativa objetiva disseminar a geoinformação no planejamento urbano e gestão municipal, conectar geograficamente a população aracajuana à cidade por meio digital, compartilhar informações de interesse coletivo e monitorar a infraestrutura e os serviços públicos de forma contínua.

O projeto está sendo executado, e o processo de atualização da base cartográfica do município contempla três partes:

- Aerolevanteamento: fase que detalha as características do território de Aracaju, e, além de realizar fotografias em alta qualidade, conta com varredura a laser que identifica detalhes na altimetria das diferentes estruturas que compõem o ambiente e uso do solo aracajuano;
- Mapeamento móvel: fase em que será utilizado um veículo equipado com uma câmera 360° de alta qualidade para percorrer as ruas e avenidas da cidade, fotografando-as, motivado pela defasagem na atualização da malha de logradouros, devido ao crescimento da cidade. Com esses dados coletados, haverá a possibilidade de mapear os percursos de novas ruas e gerar um cadastro com novos nomes, atualização de CEPs, numeração de casas, etc.;
- Levantamento topográfico: nessa fase, foi atualizada, no município, a rede de referência topográfica que servirá como base para levantamentos cartográficos futuros, por meio da implantação de 60 marcos no município. A última implantação de marcos dessa natureza havia sido realizada em 2004; e

- Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) – fase de produção do CTM, que será composto por solução de computação para armazenamento e gestão de informações territoriais, bem como pela realização de recadastramento imobiliário, com a coleta e processamento de dados descritivos e geoespaciais via Boletim de Cadastro Imobiliário (BCI) e levantamento cadastral territorial, em consonância com as diretrizes, especificações e instruções definidas para o Projeto.

Ainda de acordo com a PMA (2023), com o reconhecimento da potencialidade do Cadastro Territorial como ferramenta integrante de um sistema de administração municipal, de planejamento e de gestão territorial, que visa o desenvolvimento socioespacial de núcleos urbanos de pequeno, médio ou grande porte, a SEMFAZ, estabeleceu o LADM_AJU - modelo conceitual para composição do Sistema de Cadastro Territorial Multifinalitário de Aracaju-SE (SCTM-AJU) - desenvolvido com base no Modelo para o Domínio de Administração de Terras (Land Administration Domain Model - LADM) (ver Figura 8) e considerando conceitos da Federação Internacional de Geômetras (FIG, 2023), que define o cadastro como sendo um:

“Sistema de Informações Territoriais atualizado, baseado em parcelas, contendo um registro de interesses sobre a terra (por exemplo: direitos, restrições e responsabilidades). Geralmente inclui uma descrição geométrica de parcelas territoriais ligadas a outros registros que descrevem a natureza dos interesses, a propriedade ou o controle desses interesses, e frequentemente, o valor da parcela e suas benfeitorias. Pode ser estabelecido para fins fiscais, legais, apoiar o gerenciamento da terra e do uso do solo e apoiar o desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental”.

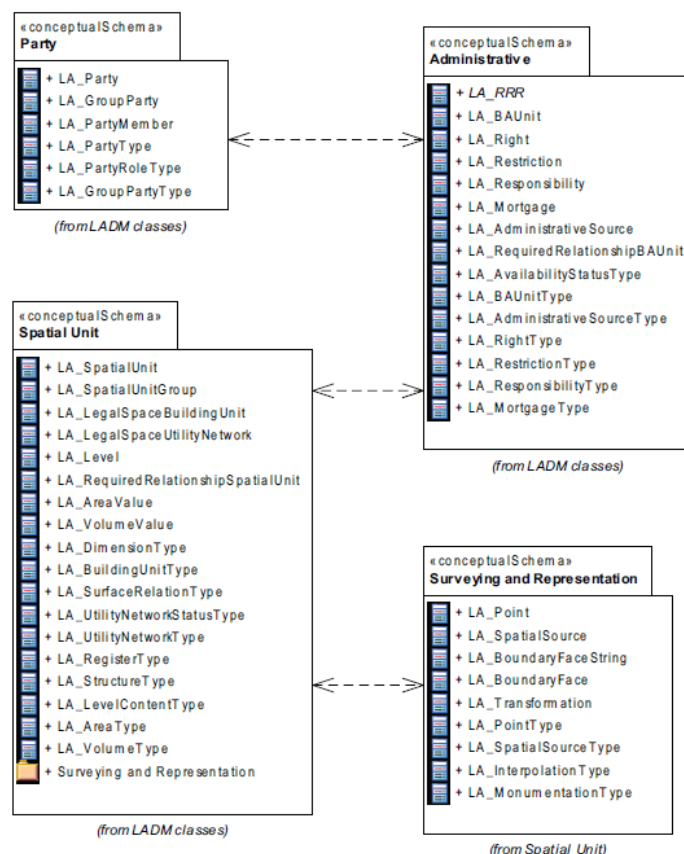


Figura 8 – Categorias de informação básicas do padrão ISO 19.152 - Modelo para o Domínio de Administração de Terras (Land Administration Domain Model - LADM).

Como o modelo LADM_AJU incorpora uma série de novos conceitos no sistema cadastral de Aracaju e mudanças de paradigma com diretrizes para implantação do CTM, foram realizadas uma série de ações que fundamentam iniciativas em termos de governança, atualizações no BCI, revisão e proposição da metodologia para realização de levantamentos, assim como melhorias na forma de armazenamento, cadastramento e manutenção das informações sobre as parcelas territoriais.

A Base Cartográfica de Referência de Aracaju (BCR-AJU/2022) foi gerada por meio da contratação de serviços e de produtos de Engenharia Cartográfica, Contrato N° 003/2021 SEMFAZ/PMA, decorrente da necessidade de atualizar a base de informações geográficas existente na PMA e com a finalidade de torná-la uma Base de Dados Geoespaciais Multifinalitária de Aracaju (BDGM-AJU), que possua integridade, interoperabilidade e mantenha consistência lógica entre os dados armazenados. A base cartográfica foi produzida com base no modelo conceitual ET-EDGV - Aracaju e é composta por ortoimagens, modelos digitais do terreno e superfície, fotografias em 360° dos logradouros, contemplando as fachadas dos imóveis, e um conjunto de dados vetoriais geoespaciais de todo o território municipal.

Cabe ressaltar que, após o desenvolvimento e implementação do SCTM-AJU, esse passará a ser a principal fonte de novas informações e de atualização de dados cadastrais, descritivos e geoespaciais, sendo responsável por garantir a atualização futura dos dados da Cartografia de Aracaju e do Sistema Tributário Municipal (STM), quando pertinente. Para a realização dos trabalhos de levantamento cadastral territorial, os dados da cartografia (BCR-AJU/2022) e do STM devem ser utilizados como fonte inicial de alimentação para o banco de dados gerado com base no modelo conceitual LADM_AJU e, a partir daí, o SCTM-AJU passará a ser a porta de entrada de dados cadastrais territoriais, atualizando os demais bancos, para aquelas classes/atributos correspondentes.

Com a finalização desse projeto, diferentes secretarias poderão utilizar esses dados para executar de forma precisa diferentes tipos de ações que trarão benefícios para a população aracajuana, além de contar com uma atualização cartográfica completa e moderna que auxiliará no planejamento urbano da capital.

IV - Considerações Finais

Diante dos desafios apresentados no uso e na estruturação de bases de dados geográficas, principalmente visando alcançar o planejamento urbano sustentável, é central que a disponibilidade e integração desses, em suas dimensões ambientais e socioeconômicas, seja repensada, considerando novas boas práticas e padrões, já que esses desempenham papel fundamental na formulação e execução de políticas públicas eficazes.

O desenvolvimento e expansão urbana equilibrados, em conformidade com as metas estabelecidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU para 2030 (ODS-2030), exigem o envolvimento colaborativo de diversos atores, incluindo a sociedade civil, instituições públicas e privadas, e governos, já que para cada uma das dezessete ODS existe, ao menos, uma dimensão geográfica e uma infinidade de aplicações de análise de dados espaciais a serem realizadas.

Considerando um contexto em que muito se fala de Bigdata e Inteligência Artificial (cuja real expressão científica é a Estatística aplicada e técnicas Matemáticas avançadas) é essencial destacar que, para alcançar minimamente o uso dos Modelos de Linguagem Generativos, padrões de qualidade nos dados são requisitos mínimos, não sendo mais um diferencial, uma vez que o uso de Cartografia Digital e de Sistemas de Informações Geográficas tornou-se algo trivial, utilizado até mesmo por alunos do Ensino Fundamental (ainda que sem preocupações científicas e/ou de tomadas de decisão).

Dessa forma, os profissionais da área, principalmente os que lidam com Planos Diretores, Cadastros Técnicos Multifinalitários e outras ferramentas e metodologias de Planejamento que envolvem o uso do Território e Paisagem, devem abandonar a visão da década de 1990 e compreender que o desenvolvimento e a implementação de Especificações Técnicas (ETs) são mais que regras e normas, garantindo minimamente a consistência e a qualidade dos dados, bem como a interoperabilidade dos diversos Bancos de Dados, ultrapassando a representação gráfica.

A partir dos estudos de caso apresentados neste artigo, a padronização dos dados e a utilização de tecnologias do Geoprocessamento que buscam alcançar a Inteligência Geográfica são fundamentais para superar as limitações na integração de informações e, assim, potencializar o planejamento urbano sustentável. A colaboração entre os órgãos governamentais e a sociedade civil é crucial para garantir o sucesso da Infraestrutura de Dados Espaciais e atender às demandas da sociedade atual por informação geoespacial.

Contudo, é imprescindível que, principalmente na esfera governamental, além de bases de dados digitais, mapas na web ou sistemas de visualização (GeodataViz), adote-se especificações e padronizações de dados geográficos a partir dos já definidos nacionalmente, incluindo a sua obrigatoriedade em licitações e outras contratações quando da entrega de dados cartográficos/geográficos digitais, garantindo a compatibilidade com os padrões do SCN e da INDE.

Embora o CONCAR (2017) estabeleça diretrizes para incorporar automaticamente dados oficiais de referência à INDE e auditar outros dados, a falta de aplicação rigorosa dessas normas resulta em dificuldades na integração de dados e na qualidade das informações disponíveis. Como este artigo defende, é crucial aprimorar a aplicação das especificações para garantir a integridade e a interoperabilidade dos dados, possibilitando decisões mais acuradas pelos gestores

públicos e tornando a INDE um repositório confiável de informações geoespaciais.

Para além da gestão pública, faz-se necessário que as parcerias público-privadas sejam elementos-chave para alcançar o desenvolvimento urbano equilibrado, a proteção do meio ambiente e o bem-estar da população, visto que o conjunto de ferramentas e metodologias do Geoprocessamento não estão somente nas mãos do Estado (e muito menos o monopólio da informação territorial). A implementação de tais medidas requer a participação ativa e contínua dos atores envolvidos, visando o estabelecimento de um futuro mais sustentável para as cidades brasileiras e, conseqüentemente, para o país como um todo, por meio do uso efetivo de dados geográficos e análises espaciais.

IV - Referências Bibliográficas

BAHIA, Estado da Bahia (2023). IDE Bahia – Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado da Bahia. Geoportal da IDE Bahia. Disponível em: <https://geoportal.ide.ba.gov.br/geoportal/institucional>. Acesso em: jul 2023. Salvador, 2023.

BRASIL. (2001). Estatuto da Cidade. Lei no 10.257, de 10 de julho de 2001, subchefia para Assuntos Jurídicos, Casa Civil, Presidência da República.

– (2004). Plano Diretor Participativo. Guia para a Elaboração pelos Municípios e Cidadãos, Ministério das Cidades.

– (2010). Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, CONCAR. Rio de Janeiro.

Burrough, P.A.; Frank, A.U. Concepts and paradigms in spatial information: are current geographical information systems truly generic? *International Journal of Geographical Information Systems*, Londres, v.9, n.2, p.101-116, 1995.

Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR). Especificação Técnica de Dados Geoespaciais Vetoriais, versão 3.0, Brasília, 2017.

– (2010). Especificação Técnica de Dados Geoespaciais Vetoriais, versão 2.1.3, Brasília, 2010.

Casanova, Marco and Brauner, Daniela and Câmara, Gilberto and Júnior, Paulo, Integração e interoperabilidade entre fontes de dados, In: Banco de Dados Geográficos, p. 317-352.

CROMPVOETS, J.; BREGT, A.; RAJABIFARD, A.; WILLIAMSON, I. Assessing the worldwide developments of National Spatial Data Clearinghouses. *International Journal of Geographical Information Science* 18 (7): 665–689pp. 2004.

CLARAMUNT, C. Ontologies for Geospatial information: progress and challenges ahead. *Journal of Spatial Information Science*, 2020, 20, pp.35-41. [ff10.53111/](https://doi.org/10.53111/)

JOSIS.2020.20.666ff. ffhal-03200202ff

DSG, Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro. Geoportal do Exército – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. Disponível em: https://bd-gex.eb.mil.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=81&Itemid=353&lang=pt. Capturado em 6 de julho de 2023. Publicação: fevereiro de 2021. Brasília, 2021.

FARINA, C. F., Abordagem sobre as técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento urbano. Caderno EPABE. BR, V. 4 n. 4 Dez, 2006.

FIG, Federação Internacional de Geômetras. Disponível em: <https://www.fig.net/>. Acessado em: jul 2023.

FRANK, D. F.; BIAS, E. S. O uso, o compartilhamento e a disseminação da geoinformação na administração pública brasileira: uma análise dos recentes avanços. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, N. 68/3, p. 547-567, Mar/Abr/2016

GUARINO, N. Formal ontology in information systems: Proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy, vol. 46. IOS press, 1998.

GSDI - Global Spatial Data Infrastructure. Spatial Data Infrastructure CookBook. 2009.

Yingjie, H.; Wenwen, L. Spatial Data Infrastructures; University Consortium for Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge: Reston, VA, USA, 2016; pp. 1–2.

MARANHÃO, V. C.; CARNEIRO, A. F. T. 2016. Análise da consistência lógica conforme padrões de qualidade da norma ISO 19.133. Revista Cartográfica 92, p. 149-171.

MASSER, I.. 2007. GIS Worlds: Creating Spatial Data Infrastructures . Vol. 338. ESRI Press Redlands, CA.

McLaughlin, John, Nichols, Sue: Developing a National Spatial Data Infrastructure, Journal of Surveying Engineering, Vol. 120, Issue 2, May 01, 1994.

PARANÁ (2016). Noções de Cadastro Territorial Multifinalitário - CTM - Série de cadernos técnicos da agenda parlamentar. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/nocoos-de-cadastro-territorial-multifinalitario-CTM.pdf>. Acesso em: junho 2023.

PIMENTA, F. (2020). Avaliação da qualidade posicional de dados geoespaciais com base em aerofotos digitais. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1HpSATjiukzfa6T5wLugMVCnlSqY07N_l. Acessado em jun 2023.

PINHEIRO DE SOUZA, T. R.; BARROS FILHO, M. B. B.; VALDEVINO, D. S.:

Normalização e modelagem de dados geográficos: o caso do DER-PB. In. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, mai-2017.

PMA, Prefeitura Municipal de Aracaju. Portal da Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente – SEUMA. Fortaleza Cidade Sustentável. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/infocidade/362-programa-fortaleza-cidade-sustentavel>. Acessado em: jul 2023.

PMF, Prefeitura Municipal de Fortaleza. Portal da Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente – SEUMA. Fortaleza Cidade Sustentável. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/infocidade/362-programa-fortaleza-cidade-sustentavel>. Acessado em: jul 2023.

PMS, Prefeitura Municipal de Salvador. Mapeamento Cartográfico de Salvador. Disponível em: <http://cartografia.salvador.ba.gov.br/index.php>. Acessado em jul 2023.

___ (2019). Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais de Salvador – ET-EDGV Salvador, Norma Técnica (<http://www.cartografia.salvador.ba.gov.br>). Salvador, 2019.

RAJABIFARD, A., CHAN, T.O., WILLIAMSON, I.P. (1999) The Nature Of Regional Spatial Data Infrastructures. AURISA 99 - The 27th Annual Conference of AURISA, Fairmont Resort, Blue Mts, Australia.

RAJABIFARD, A., FEENEY, M. F.; WILLIAMSON, I. P. Future directions for SDI development. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 4 (1): 11–22. 2002

SÃO PAULO, Estado de São Paulo (2023). IDE SP – Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.idesp.sp.gov.br/Sobre?page=SobreIDE>. Acesso em: jul 2023. São Paulo, 2023.

SILVA FILHO, E. B, FRANK, F. D. Infraestrutura de dados espaciais (INDE) como instrumento para aperfeiçoar a gestão pública. Revista Brasileira de Planejamento e Orçamento. v.6 n.2, 2016, p. 155-162.

SPU, Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União. Portfólio da Coordenação Geral de Gestão de Base de Dados e Geoinformação (CGDAG/SPU), Brasília, maio de 2022.

Williamson, I. P., RAJABIFARD, A., and FEENEY, M. E. F. 2003. Developing Spatial Data Infrastructures: From Concept to Reality. Boca Raton, FL: CRC Press.

A sustentabilidade urbana e as cidades inteligentes são essenciais no mundo atual. Com a rápida urbanização, é vital repensar o planejamento urbano, equilibrando crescimento econômico, preservação ambiental e bem-estar social. A sustentabilidade propõe harmonizar recursos naturais, qualidade de vida e resiliência dos ecossistemas. Cidades inteligentes utilizam tecnologias como IoT, big data e inteligência artificial para otimizar serviços urbanos, melhorar infraestruturas e promover participação cidadã. Estas cidades impulsionam a sustentabilidade ambiental, inclusão social e governança participativa. Planejadores e decisores devem adotar princípios de sustentabilidade e inovação. Estratégias que priorizam esses elementos são cruciais para cidades resilientes, preparadas para os desafios do século XXI. O livro "Planejamento Ambiental Urbano: Alicerces de uma Cidade Inteligente e Sustentável" reúne especialistas que exploram esses temas em onze capítulos, refletindo suas vivências e pesquisas em centros urbanos. Esta obra inspira e orienta a construção de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

