



Infraestrutura verde e saneamento básico: paralelos, benefícios e o potencial de implementação por meio dos Planos Municipais

Douglas Matheus de Avellar Ribeiro¹ Marcelle Maria Gois Lima² Tatiana da Silva Ferreira³ Rafael Costa Freiria⁴ and Mariana Rodrigues Ribeiro dos Santos⁵

¹ Engenheiro Civil. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU), Campinas, São Paulo, Brasil. douglasmrib@gmail.com

² Doutoranda em Engenharia Civil. Engenheira da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (Casan). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU). Campinas, São Paulo, Brasil. marcelleglima@hotmail.com

³ Especialização em Gerenciamento Ambiental pela Universidade de São Paulo. Professora do ensino fundamental e médio. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Faculdade de Tecnologia (FT). Limeira, São Paulo, Brasil. t218830@dac.unicamp.br

⁴ Pós-Doutorado em Direito Ambiental e Sustentabilidade pela Universidade de Alicante/ES. Docente da Faculdade de Tecnologia (FT). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Faculdade de Tecnologia (FT). Limeira, São Paulo, Brasil. rafaelcf@unicamp.br

⁵ Dr. em Ciências da Engenharia Ambiental. Docente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU). Campinas, São Paulo, Brasil. mariana@fec.unicamp.br

Notas dos autores

Os autores declaram não possuir conflitos de interesse a declarar.

A correspondência relacionada a este artigo deve ser enviada para Mariana Rodrigues Ribeiro dos Santos - mariana@fec.unicamp.br

Agradecimentos: Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2018/03140-1, pelo apoio financeiro.

Cite como - American Psychological Association (APA)

Ribeiro, D. M. A., Lima, M. M. G., Ferreira, T. S., Freiria, R. C., & Santos, M. R. R. (2024). Green Infrastructure and basic sanitation: parallels, benefits and the potential of implementation through the Municipal Plans. *J. Environ. Manag. & Sust.*, 13(1), 1-45, e23620. <https://doi.org/10.5585/2024.23620>





Resumo

Objetivo: O presente trabalho estabelece paralelos entre elementos de Infraestrutura Verde (IV) e os serviços de saneamento básico, estipulados na Política Nacional de Saneamento Básico, e evidencia possíveis benefícios/funções das IVs a cada um destes serviços, discutindo o papel dos Planos Municipais de Saneamento neste contexto.

Metodologia: Foi realizada revisão bibliográfica e análise de política pública mediante o estudo de conteúdo das legislações relacionadas.

Originalidade/relevância: O trabalho inclui a elaboração de um quadro relacionando os elementos de infraestrutura verde e seus potenciais benefícios/funções frente aos diferentes elementos do saneamento, para além da questão da água e do esgoto, mais comumente relacionados à IV na literatura, colaborando de forma mais abrangente para a discussão.

Resultados: Conclui-se que os serviços ambientais providos por uma rede de IV podem contribuir com a maior sustentabilidade das redes de saneamento básico, destacando-se assim a importância da IV estar inserida no contexto de política pública. Neste sentido, os PMSB apresentam o potencial de estimular e subsidiar o planejamento e a implementação de IVs pelos municípios.

Contribuições sociais/para gestão: Tendo em vista a situação do saneamento básico no Brasil, discute-se a oportunidade de utilização de IV como forma de auxiliar na provisão dos serviços de saneamento básico de forma mais sustentável e com uma série de benefícios sociais, ambientais e econômicos. Atrelar estas soluções alternativas no delineamento de PMSB, obrigatórios para todos os municípios, aumenta a oportunidade de estas soluções serem colocadas em prática, de forma complementar às soluções de infraestrutura cinza.

Palavras-chave: Plano Municipal de Saneamento Básico, política pública, serviços ambientais, redes

Green Infrastructure and basic sanitation: parallels, benefits and the potential of implementation through the Municipal Plans

Abstract

Objective: This work establishes parallels between elements of Green Infrastructure (GI) and basic sanitation services stipulated in the National Basic Sanitation Policy, and highlights possible





benefits/functions of GI for each of these services, discussing the role of Municipal Basic Sanitation Plans (MBSP) in this context.

Methodology: A bibliographical review and public policy analysis were carried out by studying the content of related legislation.

Originality/relevance: The paper includes the development of a framework relating the elements of GI and their potential benefits/functions in relation to the different elements of sanitation, in addition to the issue of water and sewage, more commonly related to GI in the literature, collaborating in a more comprehensive way for the discussion.

Results: It is concluded that the environmental services provided by a GI network can contribute to greater sustainability of basic sanitation networks, thus highlighting the importance of GI being included in policy-making. In this sense, the MBSP have the potential to stimulate and subsidize the planning and implementation of GI by municipalities.

Social/Management Contributions: Considering the current situation of basic sanitation in Brazil, the opportunity to use GI is discussed as a way to assist the provision of basic sanitation services in a more sustainable way and with a series of social, environmental and economic benefits. Linking these alternative solutions in the design of MBSP, mandatory for all municipalities, increases the opportunity for these solutions to be put into practice, in a complementary way to the gray infrastructure solutions.

Keywords: Municipal Basic Sanitation Plan, public policy, environmental services, networks

Infraestructura Verde y saneamiento básico: paralelos, beneficios y potencial de implementación a través de los Planes Municipales

Resumén

Objetivo: Este trabajo establece paralelismos entre elementos de Infraestructura Verde (IV) y servicios de saneamiento básico estipulados en la Política Nacional de Saneamiento Básico, y destaca posibles beneficios/funciones de la IV para cada uno de estos servicios, discutiendo el papel de los Planes Municipales de Saneamiento Básico (PMSB) en este contexto.

Metodología: Se realizó una revisión bibliográfica y un análisis de políticas públicas mediante el estudio del contenido de la legislación relacionada.





Originalidad/relevancia: El documento incluye el desarrollo de un marco que relaciona los elementos de la IV y sus beneficios/funciones potenciales en relación con los diferentes elementos del saneamiento, además de la cuestión del agua y el alcantarillado, más comúnmente relacionados con la IV en la literatura, colaborando en un manera más completa para la discusión.

Resultados: Se concluye que los servicios ambientales proporcionados por una red de IV pueden contribuir a una mayor sostenibilidad de las redes de saneamiento básico, destacando así la importancia de que la IV sea incluida en el contexto de las políticas públicas. En este sentido, los PMSB tienen el potencial de estimular y subsidiar la planificación y implementación de IG por parte de los municipios.

Contribuciones sociales/de gestión: Considerando la situación actual del saneamiento básico en Brasil, se discute la oportunidad de utilizar la IV como una forma de ayudar en la prestación de servicios de saneamiento básico de una manera más sostenible y con una serie de beneficios sociales, ambientales y económicos. Vincular estas soluciones alternativas en el diseño del PMSB, obligatorio para todos los municipios, aumenta la oportunidad de que estas soluciones se pongan en práctica, de forma complementaria a las soluciones de infraestructura gris.

Palabras clave: Plan Municipal de Saneamiento Básico, política pública, servicios ambientales, redes

Introdução

A universalização do saneamento básico, prevista para 2033 de acordo com a Lei nº14.026 de 2020, certamente é um dos maiores desafios a serem enfrentados no Brasil. Destaca-se como uma questão complexa e urgente que demanda aprimoramento da gestão, o que inclui planejamento, gerenciamento, instrumentos e ferramentas. Além disso, são fundamentais as práticas para promoção de avanços estruturais, econômicos, ambientais e, conseqüentemente, sociais, atendendo às necessidades básicas dos indivíduos, possibilitando condições mais dignas de vida.

O cenário do saneamento brasileiro é, de fato, desafiador. Dados do Instituto Trata Brasil (2021) apontam que, em 2021, cerca de 15 % dos brasileiros não tinham acesso à água



tratada e 44,2 %, à coleta de esgoto. Além disso, apenas 51,2% do esgoto coletado era tratado (relação esgoto tratado/esgoto gerado). Ainda de acordo com esse levantamento, a quantidade de óbitos devido a doenças de veiculação hídrica também era alarmante, 1493 nesse mesmo ano (2021).

Por sua vez, dentre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pelas Nações Unidas para a Agenda 2030, está o ODS 06, de alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos (Organização das Nações Unidas [ONU], 2023). Esse ODS preconiza que se deve “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos” (ONU, 2023) e, assim como os demais, possui grandes potenciais para direcionamento de políticas públicas e tomadas de decisão por gestores nas diferentes esferas na tratativa deste desafio.

No contexto brasileiro, uma importante ferramenta que tem o papel de colaborar na melhora da situação do saneamento, é o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). Tal documento é obrigatório para todos os municípios e direciona as ações de saneamento a serem implementadas de acordo com a realidade local, conforme estabelece a legislação. Complementarmente, deve-se observar a existência do Plano Diretor Municipal (FUNASA, 2012), estabelecendo assim, ainda que indiretamente, relação com as diretrizes de uso e ocupação do solo.

Em paralelo a isso, destaca-se aqui a Infraestrutura Verde (IV), um conceito relativamente recente e que corresponde a uma rede interconectada composta por elementos naturais e seminaturais, a ser planejada estrategicamente e implementada em diferentes escalas, cumprindo diversas funções, como a prestação de serviços ambientais e/ou ecossistêmicos (Benedict & McMahon, 2006; EC, 2014; Sant’Anna, 2020; Van der Sluis e Jongman, 2021; Santos & Freiria, 2023).

Estas infraestruturas são compostas por elementos que têm apresentado potencial relação de sinergia e interação direta com questões relativas à temática de saneamento, como



por exemplo, as *wetlands* construídas, utilizadas no tratamento de esgoto sanitário, bem como, na gestão das águas, principalmente na drenagem e abastecimento urbano (Stefanakis, 2019).

Considerando essa possível sinergia entre IV e saneamento, o presente trabalho busca estabelecer paralelos entre elementos de IV encontrados na literatura e os serviços de saneamento básico estipulados na Política Nacional de Saneamento Básico, evidenciando possíveis benefícios e/ou o cumprimento de funções pelas IVs a cada um destes serviços. Tendo em mente que as IV são estruturas multifuncionais e de menor impacto ambiental, uma vez que são essencialmente baseadas em elementos naturais, a oportunidade de solucionar demandas do saneamento com obras e ações sob esta perspectiva, permite atrelar melhora na qualidade ambiental, especialmente de centros urbanos, com a solução e atendimento às urgentes demandas de saneamento.

Ressalta-se ainda a importância de as IVs enquanto rede interconectada e os serviços e demandas do saneamento serem planejados junto a planos estratégicos, em especial, com interferência no uso e ocupação do solo, refletindo em diretrizes orientadoras para novos desenvolvimentos como os Planos Diretores Municipais (Santos & Freiria, 2023), bem como, junto aos PMSBs, fomentando assim a implementação de elementos de IV junto à execução de projetos previstos no plano. Além disso, de acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico, os Planos Municipais de Saneamento Básico são atribuição dos municípios, com o apoio dos estados (Brasil, 2020). Assim, tais planos devem observar orientações de políticas e planos supramunicipais, sendo fundamental a articulação entre as diferentes esferas.

Vale ressaltar que iniciativas governamentais são fundamentais para a inserção das IVs como alternativas viáveis, em especial em países em desenvolvimento, até mesmo para que a sociedade se sinta estimulada a adotar essas medidas. Assim, o incentivo à adoção de estratégias sustentáveis, cidades mais verdes e com mais qualidade de vida e social, deve perpassar as políticas públicas (Liberalesso et al., 2020).

Revisão bibliográfica





A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) e os Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB)

Como demanda social, o saneamento foi inicialmente relacionado à saúde pública, interferindo no planejamento urbano de forma direta no início do século XX e, posteriormente norteou a proposição de políticas públicas com direcionamentos para setores e serviços mais específicos, sendo a primeira Política de Saneamento Básico brasileira instituída em 1967, apresentando diretrizes para abastecimento de água e esgotos sanitários (Freiria, 2011). Já a Constituição Federal de 1988 apresenta o termo em três de seus artigos (artigos 21, XX, no 23, IX e 200, IV) podendo, assim, ser vinculado ao desenvolvimento urbano e à saúde pública, sendo direito básico de todos e objeto de políticas públicas específicas (Freire, 2020).

Atualmente, a Lei nº 11.445/2007, alterada pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que estabelece o marco legal do saneamento, define saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, além de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Referida legislação elenca a obrigatoriedade de planos de saneamento básico em âmbito local ou regional.

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) deve ser implantada pelo titular do serviço de saneamento, ou seja, pelo município, com o auxílio do estado. Cada município deve, portanto, elaborar seu PMSB ou estar inserido no contexto do plano regionalizado. Os Planos devem conter, no mínimo, o diagnóstico da situação, os objetivos e metas, os programas, projetos e ações, ações de emergência e contingência e mecanismos de avaliação sistemática, conforme indica a legislação.

Em janeiro de 2020, a obrigatoriedade da elaboração dos PMSBs foi estendida para dezembro de 2022, depois de quatro prorrogações anteriores. Apesar deste prazo já ter expirado, não houve nenhuma alteração legislativa definindo uma nova prorrogação. Isto



significa que, em tese, os municípios que não instituíram seus respectivos planos estão impedidos de acessar os recursos federais voltados para o saneamento básico.

Os últimos dados processados pelo IBGE sobre o percentual de municípios que cumpriram o prazo estabelecido pela PNSB são de 2017 (IBGE, 2018). Tais dados sinalizam que em 2017, um montante de 2.313 municípios brasileiros (41,5% do total) possuía Plano Municipal de Saneamento Básico. Em termos regionais, as Unidades da Federação com a maior proporção de municípios com referido plano eram Santa Catarina (87,1%) e Rio Grande do Sul (75,5%), enquanto as menores foram verificadas na Paraíba (13,0%), Pernambuco (14,1%) e Bahia (14,6%).

Os PMSBs são considerados instrumentos vitais para o planejamento estratégico das cidades, sendo exemplo de políticas públicas, essenciais para o aprimoramento da gestão. Isso porque fornecem subsídio aos gestores para tomadas de decisão mais assertivas, efetivas e eficazes, considerando toda a extensão do território na busca por atender às necessidades e interesses da sociedade, específicas e/ou compartilhadas (SEBRAE/MG, 2008, p.5). É ainda uma das principais ferramentas para a organização da gestão dos serviços de saneamento, uma vez que as atividades de regulação e contratos de prestação destes serviços devem, necessariamente, observar o disposto no referido Plano (Brasil, 2013).

Infraestruturas verdes

Diante da complexidade dos desafios ambientais, dos impactos e violações aos direitos vitais, urge a necessidade de medidas individuais e coletivas que promovam a melhoria deste cenário, pois somente por meio da modificação da forma de relação com o planeta é possível diminuir as consequências negativas das ações humanas. A busca pela harmonia e coexistência com o meio, pelo aprimoramento e resiliência nas comunidades, é essencial para nossa sobrevivência como espécie



Tendo em vista esse cenário, na procura por “[...] soluções inovadoras e sustentáveis e que se apoie em conceitos baseados no desenho ambiental e ecologia da paisagem” (Hannes, 2015, p.56), destacam-se as Soluções Baseadas na Natureza (SBN).

A Comissão Europeia (European Commission, 2015) coloca que as SBN correspondem a ações apoiadas ou inspiradas na natureza, capazes de promover adaptação e resiliência, ofertando benefícios sociais, econômicos e ambientais, uma vez que resgata processos e aspectos naturais diversos, tanto para as áreas urbanizadas como para ecossistemas modificados ou naturais a serem restaurados.

Entendidas como um conceito guarda-chuva, as SBN englobam diferentes abordagens: abordagens de proteção de ecossistemas; abordagens específicas relacionadas aos ecossistemas; abordagens relacionadas à infraestrutura; abordagens de gestão baseadas em ecossistemas; abordagens de restauração de ecossistemas (Cohen-Shacham et al., 2016). Neste contexto, o conceito de IV pode ser indicado como uma das formas de Soluções Baseadas na Natureza, ainda que seja anterior ao seu surgimento.

Nesse sentido, publicações, documentos oficiais e iniciativas estruturais que buscam valorizar e integrar a natureza com o homem e com a paisagem construída são lançados e implantados desde o século XIX, ressaltando a ideia de IV que otimiza a ocupação do território considerando as demandas sociais, ao mesmo tempo em que busca reduzir os impactos já causados (Benin & Constantino, 2017).

Vale mencionar então a definição apresentada pela Comissão Europeia, que apresenta IV como “uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais e seminaturais com outros recursos ambientais projetados e gerenciados para fornecer uma ampla gama de serviços ecossistêmicos” (European Commission, 2014).

Considerando que o termo IV pode apresentar diferentes significados a depender do contexto, este trabalho segue a definição de “uma rede interconectada de áreas naturais e outros espaços abertos que conserva valores e funções naturais dos ecossistemas, sustenta ar



e água limpos e provê grande variedade de benefícios aos seres humanos e à vida silvestre” (Benedict & McMahon, 2006), atuando em diferentes escalas (de paisagem, de projeto/particular, individual, local, estadual, nacional) conforme necessidade e planejamento (IPT, 2020; Sant’Anna, 2020; Prescott et al., 2021).

A IV é composta por um sistema de hubs, links e sites. Os hubs ancoram as redes de IV e fornecem espaço para a vida das plantas e das comunidades animais, ou seja, são a origem ou destino dos animais e dos processos ecológicos que se movem pelo sistema. Exemplos de hubs são: grandes reservas e áreas de proteção; grandes áreas públicas, como florestas nacionais e estaduais; áreas privadas, como fazendas; parques e reservas regionais; parques comunitários e espaços verdes. Os links são as conexões que “amarram” o sistema. Elas são essenciais para manter os processos ecológicos vitais, a saúde e a biodiversidade das populações animais. Ainda, possuem grande potencial de uso recreacional pela população. Podem ser considerados links: rios, áreas de várzea, vias verdes, corredores ecológicos e cinturões verdes. Os sites são menores que os hubs e podem não estar conectados à rede, mas contribuem para importantes valores ecológicos e sociais, como proteção da vida animal e uso recreacional (Benedict & McMahon, 2006; Benini & Constantino, 2017).

Vasconcellos (2015) apresentou uma proposta de método para aplicação de uma IV: 1. Identificar possíveis hubs; 2. Definir o tamanho mínimo que os hubs deverão possuir; 3. Eliminar hubs pré-selecionados com tamanho inferior ao definido; 4. Identificar o tipo paisagístico de cada hub e as potenciais conexões entre eles, de maneira a replicar os padrões ecológicos naturais da área; 5. Identificar áreas apropriadas e inapropriadas para compor os links; 6. Definir as áreas mais adequadas, a partir da pré-seleção feita na etapa 5.; 7. Avaliar se as áreas selecionadas compõem trajeto contínuo e possuem largura necessária para suportar a rede ecologicamente; 8. Caso contrário, averiguar se é possível restaurar as áreas modificadas para espaços naturais que preencherão as lacunas dos links; 9. Não sendo cabível a



restauração, eliminar estas áreas previamente selecionadas; 10. Avaliar prós e contras de cada ligação e determinar o desenho da rede.

Enquanto princípios essenciais de uma IV, Benedict e McMahon (2006), primeiros autores a citar IVs, estipularam que: conectividade é a chave; contexto importa; deve possuir embasamento científico; pode e deve funcionar como uma rede para conservação e desenvolvimento; deve ser planejada e protegida antes do desenvolvimento; é um investimento público imprescindível; proporciona benefícios à natureza e aos seres humanos; respeita as necessidades e os desejos dos proprietários de terras e outras partes envolvidas; requer conexões com as atividades de dentro e fora da comunidade; requer comprometimento a longo prazo. Ao que se refere à IV urbana, Marques (2020) destacou seis princípios: multifuncionalidade; conectividade; integração verde-cinza; múltiplas escalas; importância do contexto e processo transdisciplinar.

As IVs facilitam visões e respostas holísticas diante das diversas demandas impostas pelas cidades; demandam comunicação, planejamento e participação de todos os interessados/impactados (pessoas, comunidades e/ou setores); são SBNs, geralmente de baixo custo; devem ser distribuídas, variadas, descentralizadas e integradas; formam redes que englobam elementos adaptados a cada contexto e; com múltiplas formas, materiais e tamanhos, cumprem múltiplas funções em diversas escalas; são mais resilientes; contribuem para economia circular e para a formulação de melhores políticas, assim como estas podem direcionar o desenho e instalação dessas estruturas nos municípios (Vollmer e Gret-Regamey, 2013; Ferreira et al., 2013; Eger e Stein, 2015; Dong et al., 2017; Douglas, 2018; Vörösmarty et al., 2018; Langergraber e Masi, 2018; Tao, 2019; Herslund e Mguni, 2019; ASCE, 2019; Nzimakwe, 2020; Poosti et al., 2020; Martín et al., 2020; Thakur e Bhonde, 2021; Mesgar et al. 2021; Cheshmehzangi et al., 2021; Prescott et al., 2021; Bridgewater, 2021; Bertrand-Krajewski, 2021; Faedda e Plaisant, 2021; Franco-Torres et al., 2021; Dal Ferro et al., 2021).



O termo e ideia da IV, como concepção de planejamento e desenvolvimento tem se expandido em campos de estudo, discussões e em projetos implementados por diversas áreas e profissionais ao redor do mundo. Para intervenções mais eficientes e eficazes, é exigido conhecimento sobre as especificidades locais, sobre as limitações e potencialidades das tecnologias para cada realidade, dinamismo, flexibilidade, abordagem sistêmica, inter, multi e/ou transdisciplinaridade, além de informação e participação da comunidade afetada pela proposta (Herzog & Rosa, 2010; Benini & Constantino, 2017; Braga & Gouveia, 2020; Benini & Rosin, 2019).

Dentre os vários benefícios proporcionados pelos elementos de IVs, em especial, está a provisão de serviços ambientais e ecossistêmicos. A Avaliação Ecosistêmica do Milênio (PNUMA, 2005) apontou os serviços ecossistêmicos como todos aqueles benefícios que o ambiente (os ecossistemas) pode prover à humanidade, incluindo serviços de provisão, reguladores, culturais e de suporte. Já os serviços ambientais seriam os benefícios provenientes da intervenção humana, recuperando e/ou aprimorando os serviços ecossistêmicos e conseqüentemente a vida de todos (Ferreira et al., 2013; IPT, 2020).

Santos e Enokibara (2021) apresentam “uma classificação dos termos mais utilizados para se referir às tipologias de IV” em publicações brasileiras, destacando-se: corredores verdes, parques lineares, espaços abertos, áreas naturais, jardins de chuva, arborização urbana, biovaletas, corredores ecológicos, canteiros pluviais, alagados construídos, tetos verdes, lagoas pluviais, pavimentos permeáveis, fragmentos permeáveis, caminhos verdes, cinturões verdes, ruas arborizadas, bacias de retenção, *greenways*, cisternas, redes verdes e ruas verdes.

Ainda conforme as autoras, pode-se destacar alguns termos relacionando às IVs levantadas diretamente com o saneamento básico: *Best Management Practices* (BMP); bioengenharia; biomimética; biorretenção; tratamento por zona de raízes; fitodepuração; fitorremediação; *Low Impact Development* (LID); Melhores Práticas de Manejo (MPM);





Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS); Técnicas compensatórias (TC) (Santos & Enokibara (2021).

Procedimentos metodológicos

Em levantamento da literatura científica, foi realizada pesquisa sistematizada nos dias 06 de julho e 12 de agosto de 2022 em 02 bases de dados, na *Scopus* e *Web of Science* (WoS). Ambas possuem milhões de documentos indexados e proporcionam visibilidade internacional das pesquisas e produção científica.

Considerando o interesse em publicações também do Brasil optou-se por buscar documentos em português e em inglês, por ser o idioma acordado como linguagem científica comum. Por outro lado, visando publicações científicas mais recentes, delimitou-se o intervalo de tempo de 05 anos. Com o uso das palavras-chave “infraestrutura verde” e “green infrastructure”, selecionando arquivos entre 2017 e 2022, obteve-se como resultados na *Scopus*, 2.894 documentos (62 provenientes do Brasil) e 2.969 na WoS (74 do Brasil). Visando refinar os resultados, uma nova busca foi realizada, em 13 de outubro de 2022, sem período definido, por já haver restrição na pesquisa com os termos de busca, com a combinação das palavras-chave “infraestrutura verde”, “green infrastructure”, “sanitation” e “saneamento”, resultando em 28 publicações na *Scopus* e 14 na WoS. Ao excluir os títulos repetidos entre as bases, chegou-se ao número total de 34 documentos. As características destes documentos são apresentadas adiante.

A Tabela 01 apresenta de forma sintetizada o string de busca utilizado em casa base de dados.



Tabela 01

String de busca utilizado.

BASE DE DADOS	STRING DE BUSCA
SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ("infraestrutura verde" OR "green infrastructure") AND TITLE-ABS-KEY ("sanitation" OR "saneamento"))
Web of Science (Core Collection)	"infrastructural verde" OR "green infrastructure" (Topic) AND "sanitation" OR "saneamento" (Topic)

Fonte: Elaborado pelos autores

Paralelamente, foi realizada uma pesquisa não sistematizada de artigos, documentos e legislação sobre IV e saneamento básico. Realizou-se revisão bibliográfica sobre conceitos, definições e aplicações de IV, tanto no contexto brasileiro como internacional. Para tanto, foram utilizados artigos científicos disponíveis em bases como Scielo e *Science Direct*; teses e trabalhos acadêmicos que abordem o tema; publicações e guias metodológicos elaborados por diferentes instituições, disponibilizados em sítios eletrônicos correspondentes. Para esta busca, foram utilizados os termos “infraestrutura verde” e “green infrastructure”.

De forma complementar, foi realizado levantamento de dados secundários com base em dados disponibilizados por instituições relacionadas ao “saneamento básico”, visando levantar um panorama do saneamento e dos Planos Municipais de Saneamento no Brasil. Além disso, com base em revisão bibliográfica e documental, foram analisados guias metodológicos e foi realizada análise de política pública mediante o estudo de conteúdo das legislações relacionadas ao tema, buscando identificar o que o arcabouço legal e institucional orienta quanto ao planejamento e gestão na temática.



Feitos estes levantamentos e leituras, foi possível estabelecer um paralelo entre elementos de IV e serviços de saneamento básico, resultando no quadro representado pela Figura 02. Posteriormente, foi realizada uma breve discussão sobre as relações entre saneamento e IV e entre IVs e os PMSBs, colocando estes como possíveis indutores do delineamento e implementação destas estratégias.

Resultados e discussão

Análise bibliométrica

As bases de dados utilizadas apresentam a possibilidade de verificar análises bibliométricas dos resultados apresentados. Nesse sentido, selecionou-se alguns indicadores de interesse cruzando os dados de ambas nas figuras a seguir. Os documentos resultantes da pesquisa podem se enquadrar em mais de um país e de uma área de pesquisa.

Figura 01

Publicações selecionadas

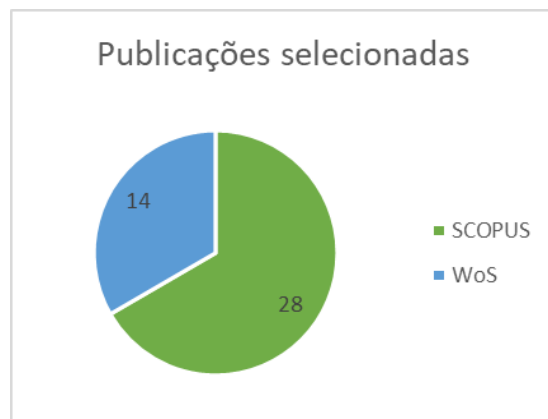


Figura 02

Foco das publicações

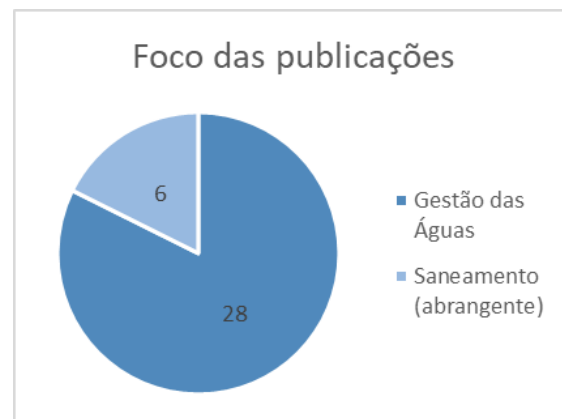


Figura 03

Tipos de publicações

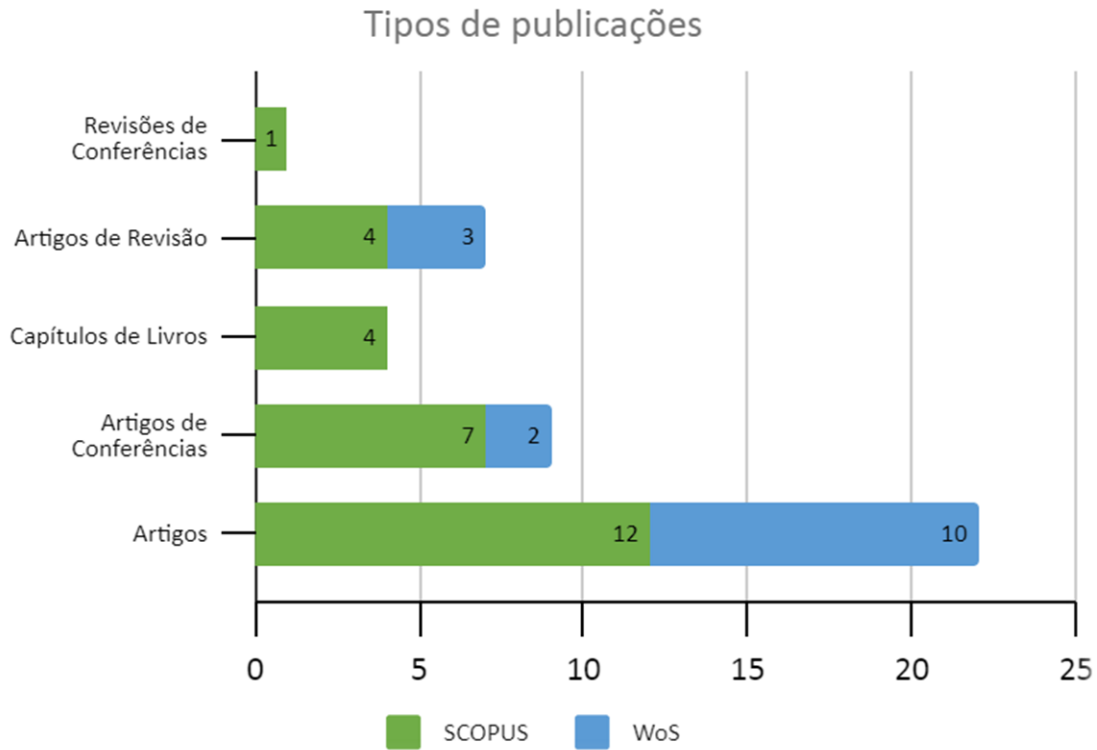


Figura 04

Publicações anuais

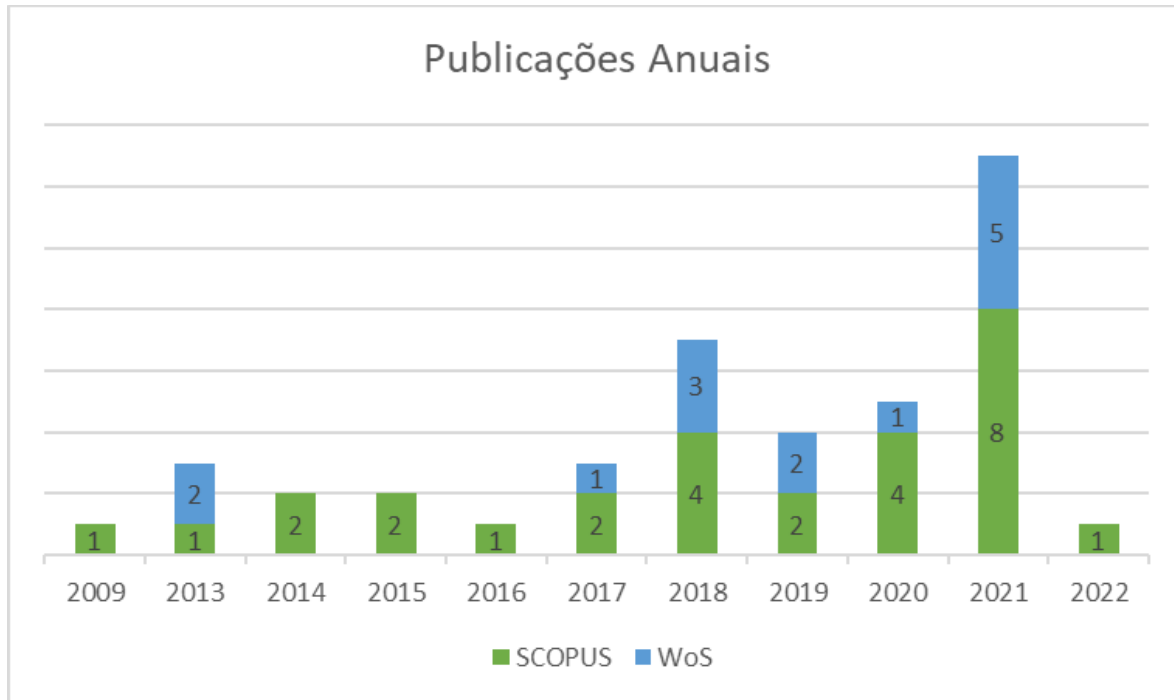


Figura 05

Publicações por países

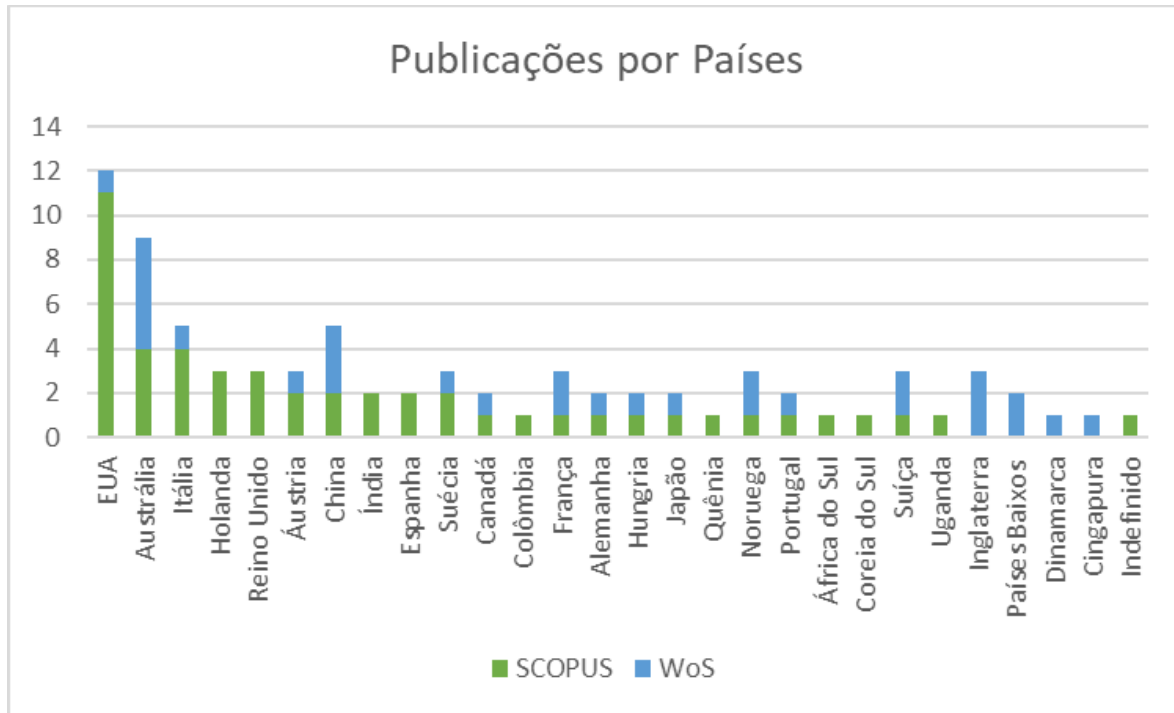
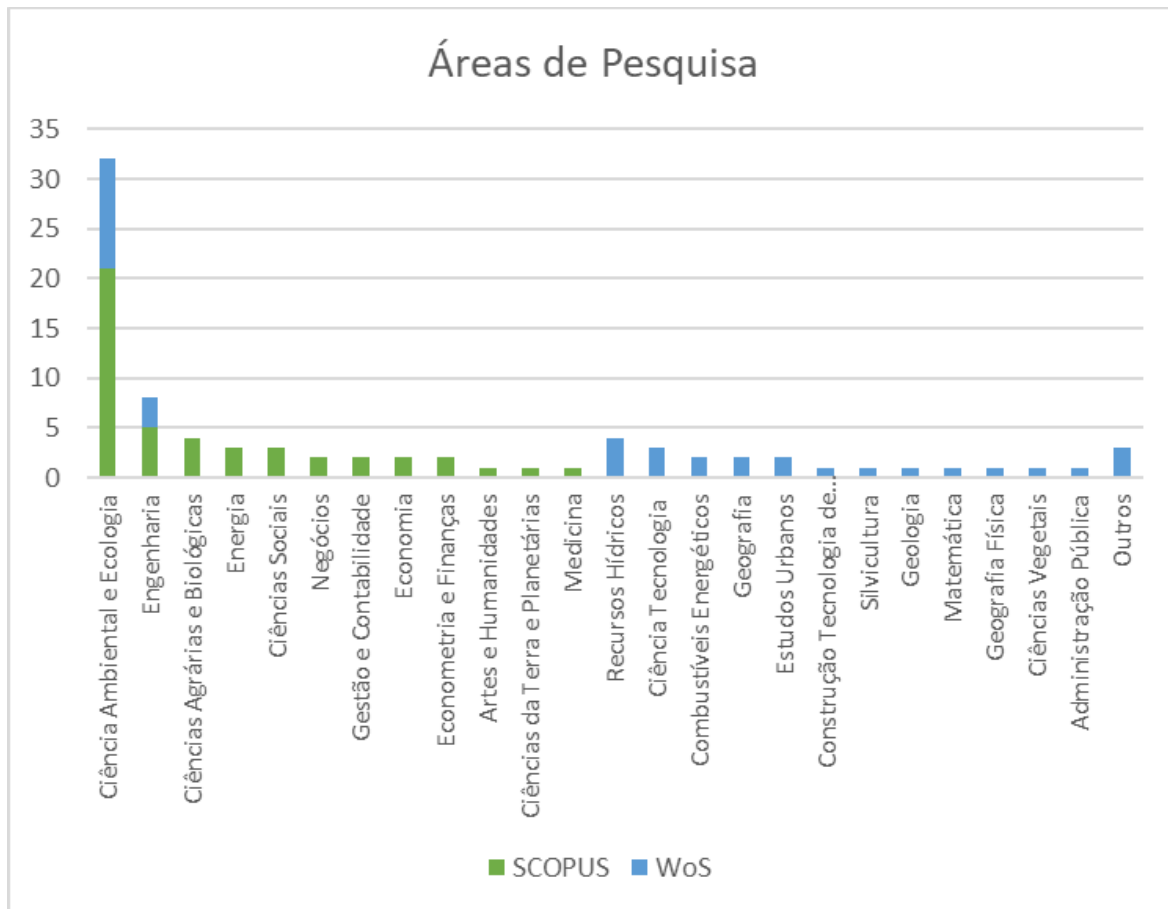


Figura 06

Áreas de pesquisa das publicações



Pode-se apontar, segundo os Figuras 01 e 02, que a maioria dos estudos foi coletada da base de dados *Scopus* e que o foco da temática predominante é a “gestão das águas”. A maioria das publicações são artigos (Figura 03) e o ano de publicação de maior incidência foi 2021 (13 publicações), em contraposição a 2009 e 2022, de menor incidência (1 publicação em cada ano) (Figura 04).

Os estudos de caso se concentraram em territórios da África, China, Indonésia, Estados Unidos, Itália, Índia, Espanha, Alemanha, Suécia, Portugal, dentre outros. Todavia, destaca-se que a maioria tem origem americana e, em segundo lugar, australiana (Figura 05). Já no que



diz respeito à área de pesquisa de tais estudos, é possível verificar, conforme o Figura 06, que a maioria se concentra em “ciência ambiental e ecologia”.

Bett et al. (2022), Douglas (2018) e Thakur e Bhonde (2021) abordaram as inundações em seus estudos e concordam que o uso de IV dentre as SBNs podem contribuir para amenizar a ocorrência destas, bem como, de possíveis impactos negativos decorrentes. Bett et al. (2022) identificaram 03 infecções oriundas de inundações. Douglas (2018) apontou a falta de comunicação, conflito de interesses e de ação dos diferentes atores como alguns dos desafios ao utilizar IVs para tais eventos. Thakur e Bhonde (2021) relataram a falta de planejamento e intervenção estrutural e institucional de forma integrada. Mesgar et al. (2021) apresentaram o processo de negociação considerando um estudo de caso envolvendo IV em 06 assentamentos informais.

Segundo Ferreira et al. (2013), por meio da articulação de ações e estruturas mais sustentáveis, incluindo o uso de IV, pode-se aprimorar a resiliência de infraestruturas e das cidades. Integração que também foi discutida nos estudos de Tao (2019) e de Zischg et al. (2017). Resiliência que Dong et al. (2017) apresentaram com enfoque no sistema de drenagem urbana e comparando IV com a infraestrutura cinza (convencional).

Dentre 04 ações globalmente significativas para apoiar futuros hídricos mais eficientes e sustentáveis, Vörösmarty et al. (2018) apontaram bancos de bacias hidrográficas de IVs, além de discutirem os desafios para alcançar a segurança hídrica de forma sustentável.

Cheshmehzangi et al. (2021) afirmaram que as soluções das IVs precisam ser acessíveis a todos os setores, comunidades e pessoas. Seu trabalho considera IVs para a sustentabilidade urbana de áreas subdesenvolvidas, assim como estudo de Prescott et al. (2021) que apresentaram uma revisão de projetos de IV direcionados a águas residuais. Enquanto Vollmer e Gret-Regamey (2013) por meio de um estudo de caso avaliaram os rios como infraestrutura municipal que atendem à demanda por serviços ambientais (água, saneamento e recreação) das populações mais carentes de países em desenvolvimento.



Li et al. (2017) realizaram uma avaliação de fatores que influenciam o desenvolvimento de infraestrutura urbana utilizando modelos estatísticos. Ao passo que Bridgewater (2021) comentou a ecologia e sua influência na implementação dos ODSs.

Considerando as inúmeras possibilidades de IV (localização, dimensão e técnicas) para cada contexto analisado, Eaton (2018) objetivou “identificar as combinações mais eficazes de diferentes técnicas de infraestrutura verde para a bacia de estudo” esperando contribuir para melhores decisões dos gestores quanto ao controle de águas pluviais urbanas. Águas pluviais também são o enfoque do trabalho apresentado por Shapiro (2016) e por Bertrand-Krajewski (2021) que realizou um panorama da evolução da gestão integrada de águas pluviais urbanas. Por sua vez, McGillis e Fitzgerald (2015) realizaram estudo de caso considerando os desafios apresentados na gestão de águas pluviais.

Zhou et al. (2009) fizeram uma revisão de documentos sobre sustentabilidade que foram publicados de 2006 a 2008, incluindo as seções sobre IV e os serviços de abastecimento, esgoto e águas pluviais. E Jamwal et al. (2020) apresentaram “o conceito de infraestrutura verde provisória (IGP) como uma tipologia de inovação especulativa [...] dentro das bacias hidrográficas altamente imprevisíveis, com restrições de espaço e contaminadas”.

Faedda e Plaisant (2021) buscaram delinear cenários possíveis para gestão integrada de recursos hídricos. Nzimakwe (2020) tratou dos desafios dos serviços de água e saneamento para urbanização e cidades inteligentes do futuro. Poosti et al. (2020) realizaram estudo de viabilidade de IVs como alternativas para uso de água reciclada. Enquanto a ASCE (2019) apresentou 18 trabalhos selecionados no Congresso Mundial de Meio Ambiente e Recursos Hídricos 2019, incluindo tópicos como inundações urbanas, sustentabilidade da água e saneamento e resiliência por meio de IV.

Franco-Torres et al. (2021) discutiram sobre paradigmas urbanos da água e como as IVs se encaixam no novo paradigma. Herslund e Mguni (2019) examinaram práticas de gestão da água e discutiram o possível alinhamento com uma agenda sustentável.



Eger e Stein (2015) apresentaram a iniciativa que “negociou o primeiro Decreto de Consentimento nos Estados Unidos para utilizar o conceito de planejamento integrado” com enfoque em bacias hidrográficas e infraestrutura verde visando a qualidade da água. País também utilizado como base do estudo de Kertesz et al. (2014) para modelagem da “eficácia hidrológica e econômica de programas de crédito de utilidade de águas pluviais para residências unifamiliares”.

Dal Ferro et al. (2021) apresentaram experimento com paredes verdes para tratamento de águas cinzas de cozinha. Enquanto o tratamento de áreas úmidas foi o foco de estudo de Langergraber e Masi (2018). E considerando o impacto do saneamento na saúde urbana, Ramirez-Rubio et al. (2019) trabalharam com uma abordagem “saúde em todas as políticas”.

Martín et al. (2020) descreveram as diferentes soluções e ferramentas utilizadas para melhorar a qualidade da água de uma lagoa eutrofizada na Espanha. Schuetze (2018) discutiu em um capítulo as boas práticas visando o desenvolvimento urbano sustentável da cidade de Freiburg. Já Hagekhalil et al. (2014) apresentaram projetos de IV previstos para a cidade de Los Angeles.

Pode-se citar como recorrentes nesses documentos questões como a importância, necessidade e urgência da melhoria no planejamento e na gestão das águas, incluindo os serviços de saneamento; estudos de viabilidade de equipamentos e redes de estruturas para cada território e cenário avaliado; políticas públicas necessárias; sustentabilidade; saúde pública; expansão urbana e crescimento populacional; resiliência e/ou adaptabilidade de estruturas e cidades; soluções integradas; multidisciplinaridade necessária para planejar e implantar infraestruturas verdes/azuis; integração de estruturas e profissionais; SBNs; serviços ambientais e/ou ecossistêmicos; contribuição das IVs para áreas mais pobres ou vulneráveis e/ou países em desenvolvimento; desafios diante das mudanças climáticas; eventos como inundações; apoio e participação das comunidades nos processos de tomadas de decisões.



Relações possíveis entre Saneamento e IV

Alguns elementos de IV são apresentados na Tabela 02, estabelecendo um paralelo em relação aos serviços do saneamento básico (drenagem urbana, abastecimento de água, resíduos sólidos, e esgoto), evidenciando possíveis benefícios e/ou funções das IVs a cada um destes serviços.

Deste modo, sugere-se elementos que podem conjuntamente compor uma rede de IV, atuantes de formas complementares atendendo à diferentes demandas do saneamento, entre outras, tanto em uma escala macro de planejamento (podendo ser municipal, estadual, regional ou mesmo nacional), como micro, de projeto (particular ou local).



Tabela 02

Quadro rerepresentando a relação entre os elementos de infraestrutura verde e seus potenciais benefícios/funções frente aos elementos de saneamento

Tipologias/elementos	Funções/Benefícios
Espaços territoriais especialmente protegidos	<p><u>Drenagem urbana</u>: conservação das áreas vulneráveis. Realizam a infiltração e retenção da água pluvial no próprio local. Aumentam a capacidade de absorção de águas pluviais contribuindo com a redução de escoamento superficial, enchentes e alagamentos. Contenção da erosão e assoreamento em encostas e margens de corpos hídricos. <u>Abastecimento</u>: ampliam áreas de absorção de água e a quantidade disponível em reservatórios subterrâneos comuns e/ou pontuais para reuso, além de proteger mananciais superficiais. <u>Resíduos sólidos</u>: possibilidade de reaproveitamento ou reciclagem de resíduos na confecção de estruturas utilizadas em algumas tipologias/elementos. <u>Esgoto</u>: contribuem na filtragem e retenção de parte dos contaminantes presentes em esgoto descartado irregularmente de forma intencional ou acidental.</p>
Calçadas verdes; ruas arborizadas; <i>greenways</i> ; canteiros pluviais	
Paredes verdes e telhados verdes	
Pavimentos e pisos verdes.	
Agricultura urbana	

Continua na próxima página





	alimentos destas áreas até os consumidores. <u>Esgoto</u> : possível utilização para fertirrigação de determinados tipos de esgoto em áreas produtivas específicas, após análise e aprovação dos órgãos competentes.
Lagos e lagoas de detenção, infiltração e retenção	<u>Drenagem urbana</u> : protege e recupera a quantidade e a qualidade da água, atuando na filtragem da água, no manejo das águas pluviais e mitigação das inundações, enchentes e os danos consequentes. <u>Abastecimento</u> : contribui para o ciclo da água no meio, possibilitando maior infiltração de água e a recarga de reservatórios subterrâneos e/ou estruturas de coleta para reuso, além de proteger mananciais superficiais. <u>Resíduos sólidos</u> : possibilidade de reaproveitamento ou reciclagem de resíduos na confecção de estruturas utilizadas em algumas tipologias/elementos. <u>Esgoto</u> : contribuem na filtragem e retenção de parte dos contaminantes presentes em esgoto descartado irregularmente de forma intencional ou acidental.
Bacias de evapotranspiração, sedimentação, círculo de bananeiras; <i>wetlands</i> naturais e/ou construídas; filtros de areia/ plantados; leito de macrófitas.	
Jardins aquáticos/ de absorção/ de chuva/ de infiltração/ filtrantes/ flutuantes/ verticais; <i>rain barrels</i> .	
Biovaletas; canaletas verdes; trincheiras de infiltração; valas e valetas verdes.	

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Benedict e McMahon (2006), Vasconcellos (2015) e, Santos e Enokibara (2021).

Complementarmente, é discutida a seguir, a possível relação entre as tipologias de IV e os serviços de saneamento básico.

Drenagem urbana e abastecimento de água

Muitas das possibilidades de utilização de elementos de IV estabelecem relação direta com as questões de drenagem urbana e, indiretamente, ao abastecimento de água, uma vez que abrangem alternativas de captação, tratamento e manejo deste recurso, para além de seu escoamento rápido, como costumava ser feito na abordagem de drenagem tradicional (Christofidis et al.; 2019). Devido a essas relações, a drenagem e o abastecimento de água são discutidos aqui de forma conjunta.

Nesse sentido, vale a ressalva de que o desenvolvimento urbano e o conseqüente aumento das áreas impermeáveis durante as últimas décadas, aumentou tanto a intensidade do escoamento superficial, como a quantidade de poluentes nas águas pluviais, cujo destino são os corpos hídricos (Lucke & Nichols, 2015).

Diferentemente dos sistemas convencionais de manejo de águas pluviais, a IV conta com o uso combinado de vegetação e solo, topografia e sistemas de bioengenharia, e assim participa do controle da quantidade de água pluvial acumulada e do escoamento superficial, contribuindo para a redução na ocorrência de enchentes no meio urbano.

Ainda, a IV realiza um tratamento da água de escoamento superficial antes desta desaguar nos corpos hídricos, seja através da infiltração, adsorção química e processos biológicos (Li et al., 2019). Logo, essas águas chegarão mais limpas aos corpos hídricos, exigindo menos da capacidade de autodepuração dos mesmos (Von Sperling, 1996). Como os corpos hídricos estão diretamente conectados ao sistema de coleta e tratamento de água para abastecimento das cidades, esses elementos têm o potencial de auxiliar no alívio da pressão exercida sobre a infraestrutura de saneamento.

Complementarmente, ao empregar telhados verdes, jardins de chuva, biovaletas e outros elementos, a IV restaura funções hidrológicas da paisagem e maneja água *in loco* por

meio de processos naturais. Sob esta perspectiva, a IV também revitaliza a biodiversidade e regenera serviços ecossistêmicos como: controle de inundações, melhoria da qualidade da água e a recarga de aquíferos (Dhakal & Chevalier, 2017).

Apesar de tanto infraestruturas cinzas quanto IVs terem o potencial de contribuir para a resiliência do sistema de drenagem urbana, a segunda apresenta maior adaptabilidade e sustentabilidade (Dong et al., 2017).

Ainda, por utilizar, geralmente, processos naturais do solo e da vegetação, a IV demanda consideravelmente menos materiais fabricados que a infraestrutura cinza. Portanto, é vantagem seu uso, além do custo-benefício, na eficiência no uso de material (Dhakal & Chevalier, 2017).

Esgotamento sanitário

Ao passarmos para a questão do esgotamento sanitário, caminhamos de forma mais direcionada para a demanda e as possibilidades relacionadas ao tratamento de efluentes.

O Brasil está longe de alcançar a universalização do acesso à coleta e ao tratamento de esgotos. Segundo Bonzi (2013), parte do motivo para esse cenário é a inviabilidade econômica de se construir e operar Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) convencionais em cidades pequenas e comunidades isoladas, já que sua operação envolve custos elevados com exigência de manutenção e mão-de-obra especializadas.

O termo “comunidades isoladas” refere-se a núcleos habitacionais que, por motivos técnicos, econômicos e/ou políticos, não estão conectados aos serviços públicos de saneamento básico, levando à adoção de soluções locais, unifamiliares ou semicoletivas. “Essas podem se localizar em periferias urbanas, [...], rurais ou litorâneas e podem, inclusive, estar muito próximas ou ser contíguas às regiões atendidas pelos serviços municipais de saneamento e, mesmo assim, estarem desconectadas destes”, como é o caso de muitas áreas favelizadas (Tonetti et al., 2018).



Os sistemas descentralizados podem ser definidos como aqueles que realizam a coleta, o tratamento e a disposição final (ou reúso) das águas residuais perto de onde as mesmas foram geradas. Quando projetados, construídos e operados corretamente, são capazes de garantir benefícios sociais, econômicos, ambientais e operacionais (Tonetti et al., 2018). Dentre esses, destacam-se: 1. melhoria da saúde da população local; 2. potencial paisagístico; 3. diminuição da poluição do solo e corpos hídricos locais; 4. melhoria das condições ecológicas locais; 5. proporcionam o reúso de água e de nutrientes.

No contexto de IV é possível notar como os sistemas descentralizados possuem afinidades com seus princípios, pois apresentam multifuncionalidade, integrando a paisagem e fornecendo serviços ecossistêmicos.

Logo, a utilização de uma IV que, no primeiro momento, auxilia no serviço de esgotamento sanitário, pode ainda contribuir positivamente para os serviços de abastecimento de água. Isso porque, ao lançar no manancial um efluente com melhores parâmetros de qualidade, preserva-se essas águas, que conseqüentemente terão melhores características ao serem captadas no sistema de abastecimento, exigindo menos da etapa de tratamento de água.

Outra vantagem dos sistemas descentralizados de tratamento apontada por Bonzi (2013) e Tonetti et al. (2018), é o fato de geralmente não apresentarem rejeição pela população local, principalmente quando esta participa da sua escolha. Bonzi (2013) ainda pontua que, em alguns casos, ao receberem tratamento da paisagem, o papel de purificação do esgoto não é percebido pelos usuários do local.

Dentro deste contexto, um sistema descentralizado, que também é uma IV é o chamado Sistemas Alagados Construídos (SAC), que são “também conhecidos como zonas de raízes ou *wetlands* (nomenclatura internacional), são compostos por valas com paredes e fundo impermeabilizados, permitindo seu alagamento com o esgoto a ser tratado” (TONETTI et al., 2018). Os SAC correspondem a sistemas de engenharia projetados para otimizar processos já



encontrados dentro da natureza e, portanto, são considerados ambientalmente amigáveis e uma opção sustentável para o tratamento de águas residuárias (Dotro et al., 2017). Nesse sentido, esse tipo de sistema possui, portanto, características semelhantes às IVs aqui estudadas.

Outros tratamentos alternativos descentralizados para esgoto, e que correspondem à elementos de IV, são o círculo de bananeiras e as bacias de evapotranspiração (Tonetti et al. 2018).

Manejo de resíduos sólidos

Em relação aos resíduos sólidos, este trabalho não encontrou na literatura consultada, referências claras que relacionem elementos de IV às soluções aplicadas a este elemento do saneamento, mas faz algumas considerações.

O primeiro ponto refere-se a atividades e espaços relacionados às ações de compostagem, que podem ser atreladas à gestão de hortas urbanas, enquadradas entre os elementos de IV.

O segundo ponto é que, um dos benefícios da IV, segundo Benedict e McMahon (2006), é sua capacidade de fomentar a educação ambiental e a cidadania. Esse fato, somado aos serviços culturais fornecidos pela natureza, como valor científico e educacional da natureza e aumento do sentimento de pertencimento a uma comunidade, pode desempenhar um importante papel no manejo e gestão de resíduos sólidos.

A Política Nacional de Educação Ambiental, Lei nº9.795 de 1999, incumbe “à sociedade como um todo, manter atenção permanente à formação de valores, atitudes e habilidades que propiciem a atuação individual e coletiva voltada para a prevenção, a identificação e a solução de problemas ambientais” (Brasil, 1999). Dessa forma, é preciso incluir a sociedade na problemática e na solução da disposição final, bem como, no gerenciamento de resíduos sólidos. Nesse sentido, as Infraestruturas Verdes têm como uma de suas potencialidades, essa maior integração da população com tais demandas.



A associação de IV com demandas de saneamento básico faz com que seja ampliado o potencial de prevenção, não geração e até redução dos resíduos que eventualmente poderiam ser descartados indevidamente em áreas verdes quando não há o sentimento de pertencimento e cidadania na relação com estes espaços urbanos. Essa perspectiva está de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece, em seu artigo sétimo, entre seus objetivos, a “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como, disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (Brasil, 2010).

IVs e PMSBs

Estabelecidos os paralelos entre elementos de infraestrutura verde e os serviços de saneamento e, resgatando o PMSB como instrumento de planejamento obrigatório para todos os municípios brasileiros, favorecendo, inclusive, o acesso a recursos do governo federal, pode-se destacar que, especialmente, sobre os princípios de multiescalaridade e multifuncionalidade, tais planos apresentam potencial para incluir os elementos de IV no planejamento municipal de forma estratégica. Segundo a Comissão Europeia (European Commission, 2014), para que uma rede de IV seja adequadamente planejada e tenha real potencial de implementação, ela precisa ser incorporada a políticas públicas, sendo os PMSBs, uma destas oportunidades.

Vale ressaltar a oportunidade da elaboração de PMSB em municípios dotados de Plano Diretor Municipal de forma alinhada a estes, sendo de fundamental importância o estabelecimento de diretrizes de uso e ocupação do solo considerando não só as demandas, distribuição e densidade da população, como utilizando novos paradigmas que incluem as abordagens de IV. Relacionar uso e ocupação do solo, partindo de princípios inovadores e considerando a capacidade de suporte dos sistemas natural e construído, é essencial para o desenho de bons PMSB.



Por outro lado, as IVs, ao serem incorporadas em políticas públicas, em especial, em PMSBs, uma vez que, conforme apresentado pela Figura 02, são várias as oportunidades verificadas, passam a ser consideradas e previstas junto ao plano em programas e projetos de curto, médio e longo prazos, considerando ainda, a possibilidade de obtenção de recursos, aumentando significativamente a chance de implementação de elementos de IV pela esfera municipal (Brasil, 2011; FUNASA, 2012; CNM, 2014).

Além disso, o PMSB, ao trazer abordagens alternativas às soluções tradicionais de lidar com os diferentes temas de saneamento, em especial, à drenagem urbana sustentável e ao tratamento de esgoto descentralizado, conforme preconizam Singapore (2011) e Tonetti et al. (2018), apresenta potencial relação direta de apropriação de elementos de IV no planejamento e gestão público municipal, fomentando maior oportunidade de sanar problemas de saneamento a menor custo financeiro e ambiental. É salutar destacar ainda que os PMSB devem considerar não só as áreas urbanas como rurais, onde soluções alternativas e elementos de infraestrutura verde apresentam grande potencial de implementação, colaborando assim para uma universalização de fato, e não focada apenas no acesso a redes.

Outro aspecto relevante de se prever elementos de infraestrutura verde nos PMSB é o incentivo de realização de obras de baixo impacto ambiental, especialmente em momento em que propostas de flexibilização nos processos de licenciamento ambiental e avaliação de impactos são discutidas no contexto brasileiro, afetando inclusive o setor de saneamento básico (Santos, 2021).

Conclusão

O estudo realizado corrobora com a premissa de sinergia e relação entre os elementos de IV e os serviços de saneamento básico. Esses diferentes elementos, por serem capazes de trabalhar de forma integrada, possuem grande potencial de cumprir funções múltiplas, como quando relacionadas a soluções ligadas à gestão de drenagem urbana, abastecimento de



água, esgotamento sanitário e de resíduos sólidos, além de promover diversos benefícios, como a provisão de outros serviços ambientais.

As IVs possuem características marcantes que as tornam interessantes para diversas realidades em busca de inúmeras conquistas, dentre elas a maior oportunização do saneamento e o desenvolvimento mais sustentável.

Para propor a utilização dessas soluções, entretanto, é necessário políticas públicas que norteiem, estimulem e possibilitem mudanças de concepções tradicionais (mais exploradoras do meio). Dessa forma, será possível uma gestão mais harmônica e segura tecnicamente ao projetar e gerenciar as ocupações humanas com o menor impacto ambiental possível.

Nesse sentido, destaca-se a importância da IV estar inserida no contexto de política pública, de forma que tenha real potencial de implementação. E na ausência de uma legislação específica sobre as IVs, os PMSBs apresentam o potencial de estimular e subsidiar o planejamento, a implementação e multiplicação de IVs pelos municípios/regiões, e assim contribuir para o aprimoramento das condições de saneamento básico nas diversas realidades de nosso país. Ademais, caso a IV esteja inserida no PMSB, aumenta a perspectiva de obtenção de recursos.

Acredita-se que o presente trabalho possa contribuir com gestores e tomadores de decisão no planejamento e execução de estratégias e estruturas para atender às demandas relacionadas ao saneamento nas cidades brasileiras.

Apesar da forte relação entre o manejo de resíduos sólidos com os demais serviços do saneamento básico, pouco foi identificado na literatura relacionando IV à resíduos sólidos, deixando, portanto, a sugestão de novas pesquisas neste campo.

Referências

American Society of Civil Engineers. (2019). Emerging and Innovative Technologies and International Perspectives - *Selected Papers from the World Environmental and Water*





Resources Congress 2019. American Society of Civil Engineers. Pittsburgh, Pennsylvania. ASCE.

Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). *Green Infrastructure - Linking Landscapes and Communities*. Washington, D.C.: Island Press.

Benini, S. M., & Constantino, N. R. T. (2017). Infraestrutura verde como um elemento estruturante da paisagem urbana. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 5, n. 30. <https://doi.org/10.17271/2318847253020171540>

Benini, S. M., & Rosin, J. A. R. G. (2019). Infraestrutura verde na cidade contemporânea. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 7, n. 47. <https://doi.org/10.17271/2318847274720192095>

Bertrand-Krajewski, J. L. (2021). Integrated urban stormwater management: Evolution and multidisciplinary perspective. *Journal of Hydro-Environment Research*. 38, pp. 72-83. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2020.11.003>

Bett, B., Tumusiime, D., Lindahl, J., Roesel, K., & Delia, G. (2022). The Role of Floods on Pathogen Dispersion. In: Ferreira, C.S.S., Kalantari, Z., Hartmann, T., Pereira, P. (eds) *Nature-Based Solutions for Flood Mitigation*. The Handbook of Environmental Chemistry. vol 107. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/698_2021_761

Bonzi, R. (2013). Paisagem como infraestrutura de tratamento das águas urbanas. *Revista LABVERDE*, (6), 15-38. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i6p15-38>





Braga, N. T. S., & Gouveia, M. S. (2020). Dialética da ocupação de áreas de várzea em Belém e propostas de drenagem compreensiva. *Novos Cadernos NAEA*, [S.l.], v. 23, n. 1, jun. <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v23i1.6724>

Brasil. Ministério das Cidades. (2011). *Guia para a elaboração de planos municipais de saneamento básico*. 2ª Edição. Brasília, Brasil: Ministério das Cidades.

Brasil. Ministério das Cidades. (2013). *Plano Nacional de Saneamento Básico: mais saúde com qualidade de vida e cidadania*. Brasília, Brasil: Ministério das Cidades.

Brasil. Presidência da República. (1999). *Lei nº 9795, de 27 de abril de 1999*. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.

Brasil. Presidência da República. (2007). *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, dentre outras disposições.

Brasil. Presidência da República. (2010). *Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

Brasil. Presidência da República. (2020). *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020*. Atualiza o marco legal do saneamento básico.

Bridgewater, P. (2021). A commentary on ecohydrology as a science-policy interface in implementing the UN Sustainable Development Goals. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 21(3), pp. 387-392. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.07.005>





- Cheshmehzangi, A., Butters, C., Xie, L., & Dawodu, A. (2021). Green infrastructures for urban sustainability: Issues, implications, and solutions for underdeveloped areas. *Urban Forestry and Urban Greening*, 59,127028. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127028>
- Christofidis, D., Assumpção, R. S. F. V., & Kligerman, D. C. (2019). A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. *Saúde em debate*, Rio de Janeiro, v. 43, n. spe3, p. 94-108, dez. <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S307>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. & Maginnis, S. (2016). *Nature-Based Solutions to address societal challenges*. Gland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>
- Confederação Nacional de Municípios. (2014). *Planos Municipais de Saneamento Básico: Orientações para Elaboração*. Brasília. CNM.
- Dal Ferro, N., De Mattia, C., Gandini, M. A., Maucieri, C., Stevanato, P., Squartini, A., & Borin, M. (2021). Green walls to treat kitchen greywater in urban areas: Performance from a pilot-scale experiment. *Science of the Total Environment*, 757, 144189. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144189>
- DhakaL, K. P., & Chevalier, L. R. (2017). Managing urban stormwater for urban sustainability: Barriers and policy solutions for green infrastructure application. *Journal of Environmental Management*, v. 203, Part 1, p. 171-181, 1 dez. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.065>
- Dong, X., Guo, H., & Zeng, S. (2017). Enhancing future resilience in urban drainage system:



Green versus grey infrastructure. *Water Research*, v. 124, p. 280-289.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.038>

Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & von Sperling, M. (2017). Treatment Wetlands. *Biological Wastewater Treatment Series*. Volume 7. Written by: IWA Task Group on Mainstreaming the Use of Treatment Wetlands.

Douglas, I. (2018). The challenge of urban poverty for the use of green infrastructure on floodplains and wetlands to reduce flood impacts in intertropical Africa. *Landscape and Urban Planning*. 180, pp. 262-272. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.09.025>

Eaton, T. T. (2018). Approach and case-study of green infrastructure screening analysis for urban stormwater control. *Journal of Environmental Management*, 209, pp. 495-504. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.068>

Eger, J., & Stein, J. (2015). Integrated planning: An innovative approach to successfully meet water quality goals. *88th Annual Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference*, WEFTEC. 9, pp. 1528-1539. <https://doi.org/10.2175/193864715819555364>

European Commission. (2014). *Building a green infrastructure for Europe*. Publications Office. EC. <https://doi.org/10.2779/54125>

European Commission. (2015). *Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities*. Publications Office. EC. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/479582>





- Faedda, G. F., & Plaisant, A. (2021). The Basin Contract as a Project-Oriented Tool for an Integrated and Sustainable Management of Water Resources. A Project for Productive Landscapes in Coros, Sardinia. In: La Rosa, D., Privitera, R. (eds) *Innovation in Urban and Regional Planning*. INPUT 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 146. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68824-0_56
- Ferreira, A. J. D., Pardal, J., Malta, M., Ferreira, C. S. S., Soares, D. D. J., & Vilhena, J. (2013). Improving urban ecosystems resilience at a city level. the Coimbra case study. *Energy Procedia*, 40, pp. 6-14. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.08.002>
- Franco-Torres, M., Rogers, B. C., & Harder, R. (2021). Articulating the new urban water paradigm. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51:23, 2777-2823, <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1803686>
- Freire, A. L. (2020). Saneamento básico: conceito jurídico e serviços públicos. *Tomo Direitos Difusos e Coletivos*, Ed. 1. <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/325/edicao-1/saneamento-basico:-conceito-juridico-e-servicos-publicos>
- Freiria, R. C. (2011). *Direito, gestão e políticas públicas ambientais*. São Paulo: Senac.
- Fundação Nacional de Saúde. (2012). *Termo de referência para elaboração de planos municipais de saneamento básico: Procedimentos relativos ao convênio de cooperação técnica e financeira da Fundação Nacional de Saúde – Funasa/MS*. Brasília. FUNASA. http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2012/04/2b_TR_PMSB_V2012.pdf
- Hagekhalil, A., Kharaghani, S., Tam, W., Haimann, R., & Susilo, K. (2014). City of Los Angeles -



The Green Blue City One Water Program, part 3 of 5: Pollutant load reduction-public green infrastructure. ICSI 2014: Creating Infrastructure for a Sustainable World - *Proceedings of the 2014 International Conference on Sustainable Infrastructure*. 2014, pp. 502-513. <https://doi.org/10.1061/9780784478745.045>

Hannes, E. (2015). Infraestrutura verde como instrumento de legislação urbana: uma análise do plano diretor estratégico de São Paulo. *Periódico Técnico Cidades Verdes*, v.03, n. 06. <https://doi.org/10.17271/23178604362015964>

Herslund, L., & Mguni, P. (2019). Examining urban water management practices - Challenges and possibilities for transitions to sustainable urban water management in Sub-Saharan cities. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101573. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101573>

Herzog, C. P.; & Rosa, L. Z. (2010). Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. *Revista LABVERDE*, (1), 92-115. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i1p92-115>

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (2020). *Guia metodológico para implantação de infraestrutura verde* [livro eletrônico] / organizadora Maria Lucia Soleral. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas - FIPT. IPT. https://www.ipt.br/download.php?filename=1936-Guia_metodologico_para_implantacao_de_infraestrutura_verde.pdf

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018). *Munic: mais da metade dos municípios brasileiros não tinha plano de saneamento básico em 2017*.



<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22611-munic-mais-da-metade-dos-municipios-brasileiros-nao-tinha-plano-de-saneamento-basico-em-2017>

Instituto Trata Brasil. (2021). Painel de saneamento Brasil. Dados de 2021. Disponível em:
<https://www.painelsaneamento.org.br/explore/ano?SE%5Ba%5D=2021&SE%5Bo%5D=a>.

Jamwal, P., Biswas, D.; & Phillips, D. (2020). Provisional green infrastructure: Transdisciplinary approaches to address contamination in urban streams. *Water Science and Technology*, 82(11), pp. 2209-2219. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.518>

Kertesz, R.; Green, O. O.; & Shuster, W. D. (2014). Modeling the hydrologic and economic efficacy of stormwater utility credit programs for US single family residences. *Water Science and Technology*, 70(11), pp. 1746-1754. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.255>

Langergraber, G.; & Masi, F. (2018). Treatment wetlands in decentralized approaches for linking sanitation to energy and food security. *Water Science and Technology*, 77(4), pp. 859-860. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.599>

Li, C.; Peng, C.; Chiang, P.; Cai, Y.; Wang, X.; & Yang, Z. (2019). Mechanisms and applications of green infrastructure practices for stormwater control: A review . *Journal of Hydrology*, v. 568, p. 626-637, jan. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.074>

Li, Y.; Zheng, J.; Li, F.; Jin, X.; & Xu, C. (2017). Correction: Assessment of municipal infrastructure development and its critical influencing factors in urban China: A FA and STIRPAT approach. *PLOS ONE*, 12(12): e0189530.





<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189530>

Liberalesso, T; Cruz, C. O.; Silva, C. M.; & Manso, M. (2020). Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives. *Land Use policy*. 96. Jul. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104693>

Lucke, T.; Nichols, & P. W. B. (2015). The pollution removal and stormwater reduction performance of street-side bioretention basins after ten years in operation. *Science of The Total Environment*, v. 536, p. 784-792, 1 dez. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.142>

Marques, T. H. N. (2020). Eixos multifuncionais: infraestrutura verde e serviços ecossistêmicos urbanos aplicados ao córrego Mandaqui, São Paulo, SP. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.

Martín, M.; Hernández-Crespo, C.; Andrés-Doménech, I.; & Benedito-Durá, V. (2020). Fifty years of eutrophication in the Albufera lake (Valencia, Spain): Causes, evolution and remediation strategies. *Ecological Engineering*. 155, 105932. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105932>

McGillis, R.; & Fitzgerald, S. (2015). Taking over ownership of a storm sewer system without looking under the hood! how SD1 quickly turned a reactive mess into a proactive asset management program. In *88th Annual Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference*, WEFTEC 2015, 11, pp. 3595-3615. <https://doi.org/10.2175/193864715819556110>





Mesgar M.; Ramirez-Lovering D.; & El-Sioufi M. (2021). Tension, Conflict, and Negotiability of Land for Infrastructure Retrofit Practices in Informal Settlements. *Land*, 10(12):1311. <https://doi.org/10.3390/land10121311>

Nzimakwe, T I. (2020). Urbanization and Future Smart Cities: Challenges of Water and Sanitation Services. In: Reddy, P.S., Wissink, H. (eds) *Reflections on African Cities in Transition. Advances in African Economic, Social and Political Development*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46115-7_11

Organização das Nações Unidas. (2023). *Agenda 2030*. ONU Recuperado de: <https://www.painelsaneamento.org.br/explore/ano?SE%5Ba%5D=2021&SE%5Bo%5D=a>

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2005). *Relatório-Síntese da Avaliação Ecosistêmica do Milênio*. Minuta Final. PNUMA. Recuperado de: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.446.aspx.pdf>

Poosti, A. Marrero, L.; Jackson, A.; Chow, D.; Burrola, F.; & Dietrick, B. (2020). Targeted onsite reuse for integrated water strategy. In *93rd Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference 2020, WEFTEC 2020*. 2020, pp. 1449-1468.

Prescott, M. F.; Dobbie, M. F.; & Ramirez-Lovering, D. (2021). Green Infrastructure for Sanitation in Settlements in the Global South: A Narrative Review of Socio-Technical Systems. *Sustainability*, 13, 2071. <https://doi.org/10.3390/su13042071>

Ramirez-Rubio, O.; Daher, C.; Fanjul, G.; Gascon, M.; Mueller, N.; Pajín, L.; Plasencia, A.; Rojas-Rueda, D.; Thondoo, M.; & Nieuwenhuijsen, M. J. (2019). Urban health: an





example of a “health in all policies” approach in the context of SDGs implementation.

Globalization and Health, 15(1),87. <https://doi.org/10.1186/s12992-019-0529-z>

Sant’Anna, C. G. (2020). *A infraestrutura verde e a sua contribuição para o desenho da paisagem da cidade* (Tese de Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília.

Santos, M. F. N.; & Enokibara, M. (2021). Infraestrutura verde: conceitos, tipologias e terminologia no Brasil. *Paisagem e Ambiente*, v. 32, n. 47, e174804.
<https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.paam.2021.174804>

Santos, M. R. R. (2021). A importância da Avaliação de Impacto Ambiental independente do licenciamento. *In... Anais do XII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, v. 12.
Recuperado de: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2021/V-011.pdf>

Santos, M. R. R.; & Freiria, R. C. (2023). O Estatuto da Cidade e seu potencial na implementação de infraestruturas verdes. *Labor & Engenho*, v.17, e023003.
<https://doi.org/10.20396/labore.v17i00.8671511>

Schuetze, T. (2018). Vauban and Rieselfeld, Freiburg, Germany: Innovation in the implementation process (Book Chapter). *Global Planning Innovations for Urban Sustainability*. pp. 73-89. <https://doi.org/10.4324/9781351124225-6>

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2008). Políticas Públicas: conceitos e práticas. Série Políticas Públicas, V.7. supervisão por Brenner Lopes e Jefferson Ney Amaral; coordenação de Ricardo Wahrendorff Caldas. Belo Horizonte:





Sebrae/MG. SEBRAE.

<http://www.mp.ce.gov.br/nespeciais/promulher/manuais/manual%20de%20politic%C3%A9Ablicas.pdf>

Shapiro, N. (2016). Stormwater BMP permitting and implementation effectiveness over time: Plan check, post-construction inspection, data tracking and annual O&M. In *WEFTEC 2016 - 89th Water Environment Federation Annual Technical Exhibition and Conference*. 2016, 4, pp. 4942-4957. <https://doi.org/10.2175/193864716819707625>

Singapore. (2011). *Active, Beautiful, Clean Waters Design Guidelines*. 2nd ed. Singapore: Public Utilities Board (“PUB”).

Stefanakis, A. I. (2019). The role of constructed wetlands as green infrastructure for sustainable urban water management. *Sustainability*, 11 (24), 6981. <https://doi.org/10.3390/su11246981>

Tao, Z. M. (2019). Research on the Degree of Coupling between the Urban Public Infrastructure System and the Urban Economic, Social, and Environmental System: A Case Study in Beijing, China. *Mathematical Problems In Engineering*. v. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8206902>

Thakur, S.; & Bhonde, U. (2021). Assessment of Urban Flood Resilience for Water, Sanitation and Storm Water Drainage Sectors in Two Cities of India. In: Babel, M., Haarstrick, A., Ribbe, L., Shinde, V.R., Dichtl, N. (eds) *Water Security in Asia*. Springer Water. 2021. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54612-4_49





- Tonetti, A. L.; Brasil, A. L.; Madrid, F. J. P. Y L.; Figueiredo, I. C. S.; Schneider, J.; Cruz, L. M. O.; Duarte, N. C.; Fernandes, P. M.; Coasaca, R. L.; Garcia, R. S.; & Magalhães, T. M. (2018). *Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções*. Ana Lucia Brasil, Francisco José Peña y Lillo Madrid, et al. -- Campinas, SP: Biblioteca Unicamp. Recuperado de:
https://cfg.com.br/up_catalogos/Livro-Tratamento-de-Esgotos-Domesticos-em-Comunidades-Isoladas-ilovepd.pdf
- Van der Sluis, T.; & Jongman, R. (2021). Chapter B.II: Green infrastructure and network coherence. In: Van der Sluis, T.; Schmidt, A. M. (2021). *E-BIND Handbook (Part B): Scientific support for successful implementation of the Natura 2000 network*.
https://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/other_documents/B2_Green-Infrastructure_JRA.pdf
- Vasconcellos, A. A. (2015). *Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana*. 1ª ed.. Curitiba : Appris.
- Vollmer, D.; & Gret-Regamey, A. (2013). Rivers as municipal infrastructure: Demand for environmental services in informal settlements along an Indonesian river. *Global Environmental Change*, 23 (6), pp. 1542-1555.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.10.001>
- Von Sperling, M. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto*. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de engenharia sanitária e ambiental. Vol 1. 2ª edição. Belo horizonte, 1996.



Vörösmarty, C. J.; Osuna, V. R.; Cak, A. D.; Bhaduri, A.; Bunn, S. E.; Corsi, F.; Gastelumendi, J.; Green, P.; Harrison, I.; Lawford, R.; Marcotullio, P. J.; McClain, M.; McDonald, R.; McIntyre, P.; Palmer, M.; Robarts, R. D.; Szöllösi-Nagy, A.; Tessler, Z.; & Uhlenbrook, S. (2018). Ecosystem-based water security and the Sustainable Development Goals (SDGs). *Ecohydrology and Hydrobiology*. 18(4), pp. 317-333.
<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.07.004>.

Zhou, J., Montalto, F., Erdal, Z. K., & McCreanor, P. T. (2009). Sustainability. *Water Environment Research*. 81(10), pp. 1451-1489.
<https://doi.org/10.2175/106143009X12445568399938>

Zischg, J., Goncalves, M. L. R., Bacchin, T. K., Leonhardt, G., Viklander, M., van Timmeren, A., Rauch, W., & Sitzenfrei, R. (2017). Info-Gap robustness pathway method for transitioning of urban drainage systems under deep uncertainties. *Water Science & Technology*, 76 (5): 1272–1281. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.320>