INFRAESTRUTURA URBANA:

planejar e projetar **cidades +sustentáveis**



Maria do Carmo de Lima Bezerra

UnB

Ao longo de mais de três décadas dedicadas ao ensino e à prática do urbanismo no Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, a professora Maria do Carmo de Lima Bezerra construiu o legado de formar gerações de arquitetos e urbanistas capazes de compreender a infraestrutura não como sistema setorial isolado, mas como fundamento estruturador da qualidade de vida e da qualidade ambiental das cidades.

Este livro é fruto dessa trajetória. Mais do que um manual técnico, trata-se da sistematização de uma experiência pedagógica comprometida com a sustentabilidade aplicada, e que se materializa nas decisões sobre uso e ocupação do solo, na escolha das tecnologias de saneamento, na leitura atenta dos condicionantes ambientais e na articulação entre Plano Diretor, projeto urbano e resiliência climática.

Ao integrar abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem, gestão de resíduos sólidos e sistema viário à lógica do ordenamento territorial, a autora reafirma um princípio essencial: não há cidade sustentável sem infraestrutura pensada desde a origem do desenho urbano. Trata-se de uma contribuição duradoura para o ensino, para a prática profissional e para o debate contemporâneo sobre sustentabilidade urbana no Brasil.

Caio Silva
Diretor da FAU/UnB

INFRAESTRUTURA URBANA:
planejar e projetar **cidades +sustentáveis**

Universidade de Brasília – UnB

Reitora: Rozana Reigota Naves
Vice-reitor: Marcio Muniz

Faculdade de arquitetura e Urbanismo FAU

Diretor: Caio Frederico e Silva
Vice-diretor: Ricardo Trevisan

Núcleo Editorial do LaSUS

Diretor – Caio Frederico e Silva
Coordenação – Marta Adriana Bustos Romero

Conselho Editorial:

Camila Amaro - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
José Marcelo Martins Medeiros - Universidade Federal de Tocantins (UFT)
Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa - FT - UnB
Tiago Montenegro Góes - Universidade Federal de Goiás (UFG)
Marcelo de Andrade Romero - Universidade de São Paulo (USP)
Lucas Rose Caldas - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Teresa Silva Santos - Universidade Nova de Lisboa (Portugal)
Nina Hormazabal-Poblete - Universidade Técnica Federico Santa Maria (Chile)

INFRAESTRUTURA URBANA:

planejar e projetar cidades +sustentáveis

Maria do Carmo de Lima Bezerra

1º edição
Universidade de Brasília

FAU-UnB 2026

Equipe editorial

Revisão e edição – Ana Flávia Flores
Projeto gráfico e capa – Cássio Aguiar Moura
Ilustrações – Leticia Evelyn Porto & Amanda de Macedo

© 2025 [Editora LASUS FAU UnB]

Direitos exclusivos dessa edição:

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
da Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro,
Instituto Central de Ciências - ICC Norte Gleba A,
CEP: 70910-900, Asa Norte, Brasília-DF, Brasil
E-mail – lasus@ unb.br | Telefone – (61) 3107-7445 / 7458

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

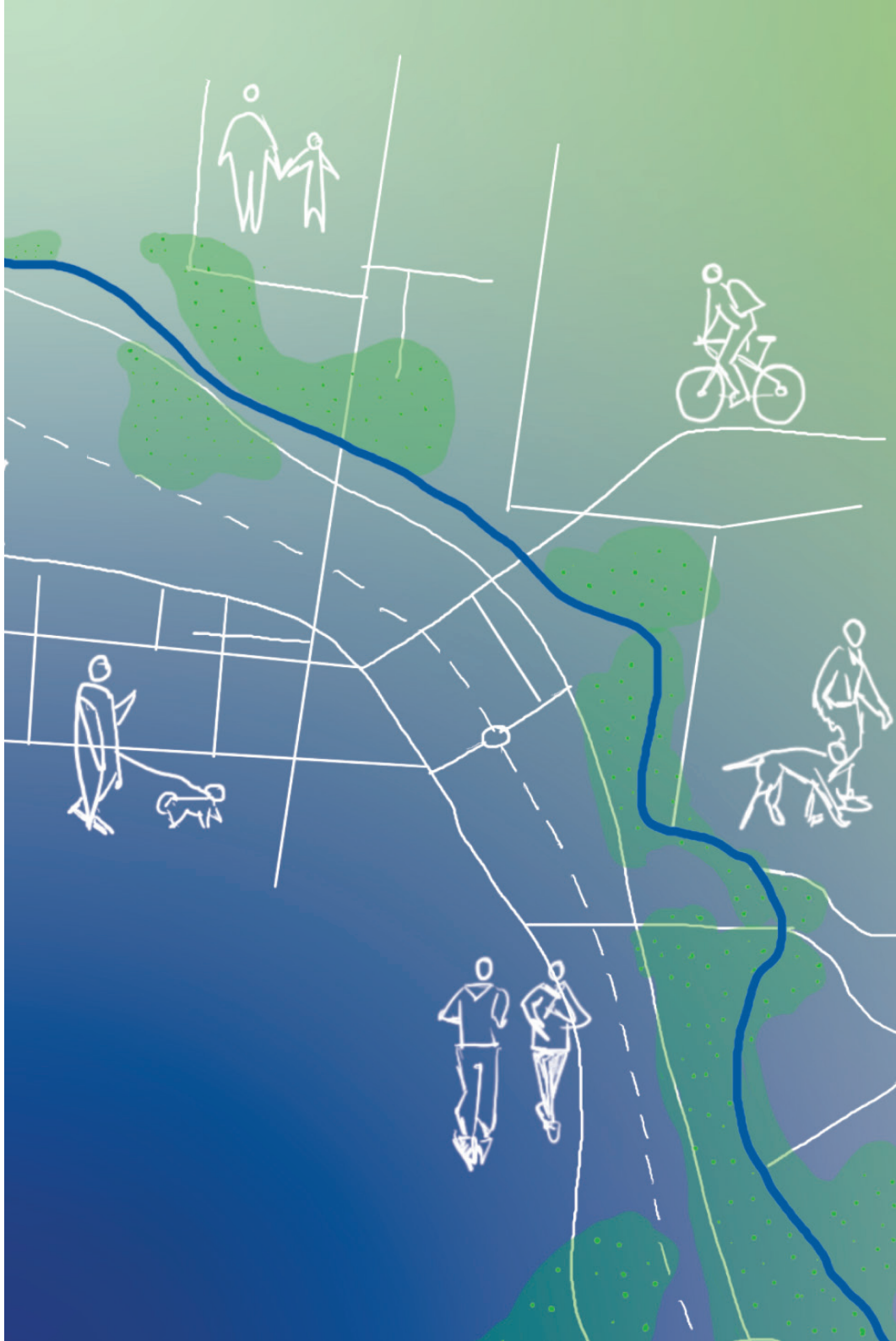
Bezerra, Maria do Carmo de Lima
Infraestrutura urbana – planejar e projetar cidades mais sustentáveis / Maria do Carmo de Lima Bezerra. – Brasília, DF : FAU UnB, 2026.

Bibliografia.
ISBN 978-65-84854-67-3

1. Cidades – Aspectos ambientais 2. Cidades – Aspectos sociais 3. Infraestrutura urbana 4. Planejamento urbano 5. Urbanismo I. Título.

25-285626 CDD-711.4

Índices para catálogo sistemático:
1. Cidades sustentáveis : Urbanismo 711.4
Eliete Marques da Silva – Bibliotecária – CRB-8/9380



Sumário

1 A infraestrutura urbana no Brasil 24

2 Condicionantes ambientais da urbanização e suas relações com a infraestrutura urbana 78

3 Abordagens contemporâneas para a infraestrutura urbana 120

4 Plano diretor: Os padrões urbanísticos e suas relações com infraestrutura 162

5 Mobilidade e suas relações com ocupação do solo e sistema viário 198

6 Drenagem Urbana: As alterações do ciclo hidrológico decorrentes da urbanização 256

7 Sistemas de abastecimento e esgotamento sanitário 322

8 Gestão de resíduos sólidos 370

Prefácio

Todo mundo já ouviu ou leu a expressão “crescimento desordenado”, nas milhões de análises, narrativas e opiniões sobre as cidades brasileiras. Refere-se a um crescimento exponencial e sem planejamento, derivado de grandes deslocamentos de populações das áreas rurais para os núcleos urbanos, criando e acumulando problemas que parecem insolúveis. E, de fato, muitas de nossas cidades ultrapassaram alguns pontos de não retorno e se tornaram amostras concentradas da crise da civilização, caóticas, insalubres, violentas.

Chega a ser uma ironia da História que o Brasil tenha, em meados do século 20, desenvolvido uma arquitetura admirada em todo o mundo e experiências inovadoras em urbanismo, inclusive criando cidades planejadas como Goiânia, Belo Horizonte e a monumental Brasília, para nas décadas seguintes desdobrar-se em múltiplas urgências na tentativa de solucionar o caos urbano e administrar os efeitos do crescimento desordenado.

Vi por dentro esse crescimento, porque vivi nele. Saí da floresta e fui morar na cidade aos 16 anos, em busca de saúde e escola. Poucos anos depois, toda a minha família estava na cidade, como outras milhares

de famílias empurradas pela expansão da frente agropecuária. Meu pai se instalou num desses bairros que se formavam da noite para o dia e construiu uma casa sobre palafitas muito altas, num ponto em que acreditava que a enchente do rio não chegaria. Eu já andava com Chico Mendes nos movimentos em defesa da floresta, mas, morando na cidade, pude também acompanhar as lutas por moradia, escola, posto de saúde, pavimentação das ruas, esgoto e abastecimento de água, a extensa pauta dos movimentos sociais urbanos. Em 1988 fui eleita vereadora e procurei levar essas reivindicações para as leis e regramentos da cidade, o planejamento urbano, o código de obras, o Plano Diretor.

Foi nesse momento que conheci e acompanhei o trabalho de dezenas, talvez centenas, de técnicos e tecnólogos, engenheiros, arquitetos, geógrafos, profissionais que trabalhavam na prefeitura municipal ou no governo estadual e traziam, das universidades, os instrumentos e conhecimentos adequados para pensar e planejar a cidade. Vi que trabalhavam sob pressão e divididos: tinham que atender as reivindicações e necessidades da população, mas estavam submetidos aos interesses da política, da especulação imobiliária, das empreiteiras. Tinham critérios técnicos, mas não tinham autonomia para tomar decisões baseadas em seus conhecimentos. Seus sonhos e utopias que não cabiam no orçamento nem no calendário do poder público.

Percebi, também, que a dinâmica muitas vezes caótica da cidade desafiava qualquer formação técnica e conhecimento científico. As soluções de um planejamento urbano fragmentado e precário não eram sustentáveis e resultavam, muitas vezes, na criação de novos problemas. Comprovava-se a famosa frase: “na prática, a teoria é outra”. Era como se a cada década todos os estudos e planejamentos tivessem que ser revistos e a formação profissional precisasse ser atualizada.

Desde então, apesar de muitos esforços e várias experiências exitosas de intervenção urbana, não podemos dizer que o Brasil -ou qualquer outro país- conseguiu “ordenar o crescimento” de suas cidades, nas quais vive hoje cerca de 80 por cento da população. Mas o mais preocupante é que, sem resolver os problemas antigos, nos defrontamos com o gigantesco potencial destrutivo das mudanças climáticas, para as quais não nos preparamos, desprezando os insistentes alertas que recebemos de cientistas, ambientalistas e povos tradicionais. Se antes tínhamos que atualizar nossos conhecimentos para dar respostas aos problemas do crescimento, agora temos que agir na dúvida e na incerteza para atender à urgência urgentíssima das catástrofes.

As mudanças climáticas exigem não apenas a atualização de.nossos conhecimentos, mas também a produção de conhecimentos novos em uma realidade que não existia antes. A informação do programa AdaptaBrasil, desenvolvido pelo MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações), nos deu uma ideia do tamanho do problema: o Brasil tem 2.600 cidades em risco alto ou muito alto de desastres causados pela crise climática. Nem podemos imaginar mais da metade das nossas cidades atingidas por seca, inundações, deslizamentos de terra ou calor extremo, com todos as consequências sociais e econômicas que isso pode acarretar.

Para as enormes tarefas da adaptação das cidades teremos que renovar todo o nosso entendimento sobre o que se costumava chamar de “relação entre a cultura e a natureza”. Teremos que repensar a urbanização, o planejamento urbano e a elaboração de novas leis e regulamentos. E não basta recuperar a infra-estrutura ou desenvolver novos equipamentos sem enfrentar a injustiça ambiental e o sistema de segregação e exclusão que gerou a crise. Afinal, a crise não é estritamente ambiental, mas também social, econômica, cultural, de toda a civilização.

A cidade se revela como um espaço da totalidade da vida. Não temos apenas um problema de mobilidade exigindo novas soluções para o trânsito, nem somente um déficit habitacional que resolvemos construindo mais casas. A cidade tem história, cultura e uma enorme diversidade de modos de vida. Assim, o trabalho de planejar e intervir na cidade precisa reunir profissionais de diversas áreas e especialidades, e cada um destes profissionais, embora seja especializado em uma determinada área de conhecimento, deverá ter a visão das outras áreas e do todo. A formação desses profissionais precisa dessa visão sistêmica e integral.

Por isso, são tão necessários livros como este, em que a arquiteta e professora Maria do Carmo de Lima Bezerra reúne a experiência de duas décadas como educadora para propor uma atualização ampla nas ideias centrais da formação em Urbanismo. Essa renovação não poderia deixar de estar ancorada na ideia de sustentabilidade e na consciência da grande mudança que ocorre nas condições de vida no planeta. Desses fundamentos nascem todas as abordagens, soluções, projetos e ações que são necessárias nas cidades.

Com esses fundamentos, pode-se produzir não apenas uma nova literatura didática e uma nova formação profissional. Produz-se também uma nova cidadania e um ideário que resgata experiências históricas. Esse ideário interessa a todos, inclusive aos cidadãos e cidadãs que constroem cotidianamente a cidade, como meu pai e seus vizinhos erguendo suas casas sobre palafitas. É com esse povo resiliente e incansável que os profissionais do urbanismo e do planejamento urbano, com uma formação para a sustentabilidade, devem dialogar, para aprender e ensinar.

Vida longa a esse diálogo, de saberes e de fazeres.

Marina Silva,
Ministra do Meio Ambiente
Março de 2026.

Apresentação

A ideia que preside este livro é fornecer informações teóricas, técnicas e normativas para o processo de ensino e aprendizagem sobre infraestrutura urbana como parte da formação de profissionais envolvidos com o ordenamento do espaço construído: urbanistas, geógrafos, engenheiros e planejadores.

O desafio colocado foi pensar no papel de um livro didático diante da disponibilidade enciclopédica de informações disponíveis em uma sociedade marcada pelas tecnologias de comunicação, que possibilitam acesso rápido a conteúdos de alta qualidade, em curto espaço de tempo e em qualquer lugar. O caminho foi rememorar a experiência adquirida ao longo da minha vida profissional e acadêmica, condição que permite a depuração do que é mais relevante diante da avalanche de possiblidades ofertadas pela internet.

Dispor as informações em uma lógica que conecte a infraestrutura urbana e o conhecimento necessário para a prática do urbanista e do planejador urbano foi o caminho escolhido. Assim, o que se apresenta é um conteúdo mínimo a ser tratado em uma disciplina de infraestrutura

urbana nos cursos superiores de arquitetura e urbanismo, cumprindo as diretrizes curriculares do Brasil.

Por isso, não se trata de uma obra que pretenda se bastar, ser definitiva. Ela visa abrir a visão do leitor para o tema, articular informações que se encontram em diferentes áreas e indicar caminhos para que o processo de aprendizado seja continuado. Se coloca como um meio, um instrumento de apoio para a prática educativa e profissional, favorecendo ampliar o universo, estimular a reflexão, exercer o senso crítico e, sobretudo, saber argumentar com os demais profissionais afetos ao tema do ordenamento territorial urbano.

Outro alerta deve ser dado em relação ao recorte temático: a publicação não dispõe de todos os conteúdos que podem ser pertinentes ao conjunto das infraestruturas urbanas, mas foca nas articulações entre o ordenamento do território urbano e as decisões sobre as infraestruturas que mais afetam o espaço das cidades, e neste ponto se mostra inovadora.

Este recorte advém da experiência de 30 anos como professora de infraestrutura urbana na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (FAU/UnB), com uma grade curricular que dispunha de dois créditos para preparar o aluno para o início do ciclo das disciplinas que abordavam o espaço urbano.

A curiosidade, a expectativa, as dúvidas e as dificuldades de mais de 1.500 alunos da graduação, e outros tantos da pós-graduação, me fizeram focar na interface da infraestrutura com o planejamento ambiental urbano, onde a salubridade das cidades e sua articulação coma natureza se destacam. Para tanto, utilizo diversas estratégias facilitadoras do processo de construção do conhecimento, fazendo referência a diferentes contextos vivenciados pelo leitor/aluno na sua cidade.

Outra vertente de aprendizado que procuro traduzir está fundamentada na experiência de anos atuando em governos locais, federal e consultorias. Observei, in loco, como os profissionais de todos os campos carecem de conhecimento sobre as consequências e os impactos das suas decisões sobre a cidade. Percebi que abordar a infraestrutura urbana como planejamento urbano, e não como campos setoriais, era um desafio. Portanto, esse deveria ser o caminho para formar profissionais comprometidos com a promoção de um espaço urbano voltado para a qualidade de vida e ambiental.

Desta forma, passei a iniciar a disciplina pelo objetivo de prover urbanidade e salubridade. Compatibilizar as preocupações relativas à configuração com as funcionalidades da adequação tecnológica e dos custos de instalação e manutenção com o meio ambiente (natural e constituído) passou a ser a sequência da disciplina que agora divido com você, caro leitor.

Mas, quais temas que envolvem a infraestrutura urbana são necessários para subsidiar áreas afetas à organização do espaço construído?

A ordenação escolhida segue a lógica de primeiro discutir o significado da infraestrutura para o funcionamento e a qualidade do espaço urbano, tendo como exemplo as condições de atendimento e déficits nas cidades brasileiras e seus consequentes impactos na saúde e no meio ambiente. Depois, são estudadas as relações entre os condicionantes físicos do território e as soluções mais adequadas de infraestrutura fundamentadas em tecnologias que possuem rebatimento sobre impactos socioambientais. Discorrer sobre a base normativa, tanto da infraestrutura como do ordenamento territorial, visa a compreensão entre a inseparável relação entre planejamento e projeto urbano e as decisões de implantação de infraestrutura.

Ao fim, são oferecidos argumentos e informações que estabelecem relação com as consequências das decisões tomadas no ordenamento do território, em última

instância no Plano Diretor, e seus impactos nas cidades.

Se, ao final, você estiver um pouco convencido e sensibilizado sobre essas relações e sobre a importância delas na prática profissional, este livro terá cumprido a sua missão.

Boa leitura, e que os conhecimentos aqui apresentados lhes sejam úteis.

Maria do Carmo de Lima Bezerra

Brasília/DF, 2025.

Introdução

A infraestrutura urbana possui enorme relevância na constituição das cidades, com implicações de ordem econômica e socioambiental, determinando o bem-estar das pessoas no que tange à renda, à saúde, à segurança e ao acesso aos mais diferentes benefícios que a urbanidade oferece, como o lazer, a cultura e o meio ambiente saudável.

O recorte adotado neste livro é o do tratamento do saneamento ambiental com seus subsistemas de abastecimento, esgotamento, drenagem e gestão de resíduos, além do sistema viário – que é a própria expressão do projeto urbanístico com o qual se definem os espaços que se pretendem para a cidade ou fração urbana. Trata-se de sistemas sem os quais uma cidade não pode funcionar, pois são responsáveis por garantir a urbanidade que a caracteriza.

Assim, caro leitor, para estabelecer o grau de relevância de cada informação sobre infraestrutura, é importante contextualizá-la dentro da ação de planejar ou projetar a área urbana, e não estudá-la de forma segmentada, sem

saber exatamente suas implicações sobre as decisões tomadas. Dito isso, cabe aqui fazer uma distinção entre os campos disciplinares que se referem ao urbano e que fazem parte da formação e da atuação profissional dos alunos de arquitetura e urbanismo no Brasil: o urbanismo e o planejamento urbano. Ao longo do livro, serão feitas referências a essas duas áreas, e como as soluções de infraestrutura podem impactá-las.

As duas disciplinas estudam o fenômeno urbano e se expressam em sua dimensão espacial. Contudo, enquanto o urbanismo dispõe sobre o projeto urbano e o desenho das frações urbanas, o planejamento trabalha com os processos socioeconômicos, ambientais e culturais, e se expressa por meio das normas político-institucionais prescritas para o ordenamento territorial, ou seja: a vertente espacial do planejamento urbano.

Em síntese, um trata do desenho das frações urbanas, definidas no ordenamento territorial, enquanto o outro efetiva as decisões tomadas no Plano Diretor do município. O urbanismo é uma prerrogativa profissional do arquiteto urbanista. Já o planejamento urbano é, por natureza, multidisciplinar, e envolve, de forma preliminar, demógrafos, sociólogos, economistas, estatísticos, geógrafos, engenheiros, juristas do direito urbanístico, entre outros. A ação propositiva de ordenamento territorial tem na figura dos arquitetos urbanistas o profissional que detém ferramentas que compõem a parte mais visível do Plano Diretor (como o zoneamento de uso e ocupação do solo, os índices urbanísticos, os códigos de obras etc.), mas esta não é a única parte da política de desenvolvimento urbano.

Apesar de aqui terem sido traçadas as distinções entre esses campos de atuação, para ajudar na compreensão da infraestrutura e suas relações com a prática profissional, deve-se dizer que essas distinções podem ser bem mais complicadas e não obter consenso entre os teóricos do assunto. Muitos dirão que tudo é arquitetura, seja do

edifício, da cidade ou do território regional. Daí se observa a dificuldade de estabelecer limites entre o planejamento e o urbanismo: intervenções urbanísticas na cidade são comumente tratadas como "obras de planejamento", enquanto atividades típicas do planejamento (como a criação de um Plano Diretor) são eventualmente tratadas como "obras de urbanismo".

Mas, também é possível encontrar na história marcos de distinção entre esses campos disciplinares, na forma como aqui abordados, sendo plausível estabelecer temporalmente o surgimento de cada disciplina. Você que é curioso do assunto pode pesquisar mais sobre o tema em SOUZA (2003)[1], que trata das relações das formas de ordenamento territorial e infraestrutura urbana.

A distinção feita anteriormente será importante para verificar em que momentos, e com quais ferramentas, se atuará profissionalmente na busca pela qualidade de vida e ambiental das cidades.

Infraestrutura urbana, qualidade de vida e ambiental

Considerando que infraestrutura urbana contribui para a qualidade do espaço urbano tanto para pessoas como para o meio ambiente, vale investigar por que no campo do planejamento urbano e do urbanismo os termos "de vida" e "ambiental" aparecem, em muitos textos, quase como sinônimos e sem nenhuma preocupação em demarcar o que caracteriza uma ou outra qualidade.

Há diferenças entre qualidade de vida, qualidade ambiental, qualidade de vida urbana, qualidade ambiental urbana? Todos os conceitos cabem no entendimento de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável urbano? De onde surgiram as derivações dos conceitos de qualidade associados ao planejamento das cidades?

Entre os mais recorrentes objetivos do urbanismo e

1 Marcelo Lopes de Souza. Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

do planejamento urbano – desde sua estruturação como disciplinas nos fins do século XIX, quando é atribuído ao engenheiro catalão Ildefonso Cerdá[2] a designação do termo "urbanismo" para designar a organização dos assentamentos humanos e "urbanização" para designar as intervenções sobre a urbe – é possível encontrar a promoção da qualidade de vida associada ao urbanismo (desenho) e ao planejamento urbano (diretrizes de ocupação).

A partir da segunda metade do século XX, em especial após a Conferência de Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas de 1992 (Rio 92), que difundiu o termo "sustentabilidade"[3], é ampliada a consciência sobre a necessidade de interfaces entre o espaço construído e a natureza. Surge, então, o objetivo de promoção da qualidade ambiental das cidades.

Não fique preocupado se você acabou de se dar conta de que não sabe exatamente a diferença entre os dois conceitos, e que não percebe essas qualidades na sua cidade, que há anos é objeto de planejamento urbano por meio de Planos Diretores. Esse entendimento não é claro para muitos, e os Planos, muitas vezes, definem objetivos de qualidade de vida e ambiental que suas recomendações não direcionam para um efetivo alcance, infelizmente.

Levando em conta apenas os aspectos técnicos, deve-se considerar que, na maioria das vezes, não se sabe quais são as variáveis envolvidas no alcance dessas qualidades. Isso faz com que os estudos que subsidiam os Planos Diretores se debrucem sobre aspectos que não fazem parte do problema existente na cidade e, por consequência, não consigam estabelecer as devidas coerências entre as ações propostas e o discurso que ancora os Planos: a

2 Cerdá projetou a ampliação de Barcelona, cidade localizada na região da Catalunha (Espanha), na década de 1850.

3 De forma simplificada, sustentabilidade refere-se a todas as dimensões do processo de desenvolvimento, sendo a ambiental entendida como a dimensão ecológica ou da natureza. Sugere-se ler: Os 50+ importantes livros em sustentabilidade, de Wayne Visser, e/ou Discursos da Sustentabilidade Urbana, de Henri Acselrad, na Revista de Estudos Urbanos e Regionais nº 1, de maio 1999.

qualidade de vida e ambiental.

Retomando a discussão para avançar sobre o entendimento dos conceitos, vale saber que os estudos acadêmicos sobre o tema da qualidade de vida existem desde o início do século XX, mas ganham ênfase nas políticas públicas após a Segunda Guerra Mundial[4] (1939-1945). Esse recorte temporal é simbólico, pois representa um discurso aglutinador para as ações de reconstrução das cidades europeias após a guerra. Nesse período, o Plano Marshall[5] lançou as bases para o chamado Estado de Bem-Estar Social, onde o planejamento econômico e urbano eram ferramentas básicas de ação. Nesse contexto, é celebre o discurso feito presidente norte-americano Dwight D. Eisenhower, em 1960, no qual defendeu que as ações empreendidas pelos Estados Unidos na Europa tinham como objetivo a promoção da qualidade de vida para todos.

Era uma ideia que falava diretamente sobre as necessidades emergenciais de reconstrução das economias de muitos países. Visava difundir o entendimento de que as ações empreendidas promoveriam/combateriam a inclusão/exclusão de grupos socioculturais; aumentariam a longevidade humana, por meio do acesso a melhores padrões de consumo dos mais diversos bens; melhores empregos; habitação; saneamento; sistemas viários; comida; remédios etc. Veja que estavam incluídas ações de infraestrutura de saneamento e de sistema viário, por exemplo.

Nesse período, qualidade de vida urbana estava associada à promoção de habitação e infraestrutura das cidades devastadas. Eram aspectos objetivos e físicos de reconstrução ou construção das cidades que, progressivamente, entre o fim da década de 1970 e o

4 BEZERRA, Maria C. L. SILVA, Marly S. Qualidade de vida e qualidade ambiental: como comparecem no planejamentodas cidades? in Paisagem Urbana: NATUREZA & PESSOAS, Editora da Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

5 O Plano de Recuperação Europeia foi um programa de ajuda econômica dos EUA aos países da Europa Ocidental após a Segunda Guerra Mundial com objetivo de reconstruir economicamente os países europeus ocidentais. Vigorou entre 1947 e 1951.

início da de 1980, foram ampliando com a incorporação de aspectos perceptivos dos espaços.

Um amplo campo de estudos associado ao urbanismo surge, e despontam autores como Kevin Lynch e Gordon Cullen. Na escala do planejamento urbano, se torna crescente a preocupação com os impactos ambientais da urbanização, com ênfase no controle da poluição do ar e da água, ruídos e aumentos de temperatura. Estudos emergem considerando os aspectos subjetivos, qualitativos e apreciativos com base na percepção dos indivíduos e dos grupos sociais em relação à sua qualidade de vida e ambiental.

Essa profusão de significados resultou que, aos poucos, foi se perdendo o conceito inicial de qualidade de vida associada a ações concretas de estruturação do espaço urbano. O conceito foi ficando difuso, com caráter de discurso sobre um "futuro desejável". E é esse entendimento que tem predominado até hoje em muitas políticas públicas, sendo fácil perceber sua presença nos discursos de gestores públicos, em estudos técnicos e nas diretrizes da legislação urbana no Brasil e mundo afora.

Retomar o entendimento do que seja qualidade de vida e qualidade ambiental passou a ser uma necessidade para os profissionais que atuam na estruturação do espaço urbano. Para tal, estudos atuais vêm dando contornos mais precisos às características do espaço associadas aos dois conceitos, de forma a instruir de maneira mais clara as intervenções urbanísticas[6].

Nessa evolução, os conceitos de qualidade de vida e qualidade ambiental, muitas vezes vistos como sinônimos, caminham para a associação de qualidade de vida ao atendimento das demandas sociais e à necessidade de que a ocupação do espaço urbano ocorra considerando as características e a proteção dos ecossistemas. A união de qualidade de vida e ambiental resulta no conjunto de

6 SANTOS, Clean Ricardo dos; HARDT, Letícia Peret Antunes. Qualidade ambiental e de vida nas cidades. In: GONZALES, S. F. N. et al. Planejamento e urbanismo na atualidade brasileira: objeto, teórica e prática, São Paulo, Rio de Janeiro: Livre Expressão, 2013. p.151-168;

fatores do meio físico e biótico do sítio, onde se localiza uma cidade, que devem ser considerados na decisão sobre como parcelar e dotar uma determinada infraestrutura.

A depender dessa decisão, podem ser desencadeados processos que levam a impactos negativos, com o comprometimento de serviços ecossistêmicos e da própria qualidade de vida. Este tema também será objeto de estudo no decorrer do livro, incluindo as necessárias discussões sobre as relações entre o Plano Diretor, condicionantes ambientais da urbanização e a dotação de infraestrutura urbana.

Para que você, leitor, tenha ideia clara do que trata o livro, os capítulos estão organizados para alcance dos seguintes objetivos:

- Conhecer a realidade das condições de infraestrutura urbana no país e os problemas decorrentes da sua ausência e/ou implantação inadequada.

- Entender como as definições de ocupação do solo estabelecidas no Plano Diretor interferem no desempenho da infraestrutura e da qualidade de vida e ambiental.

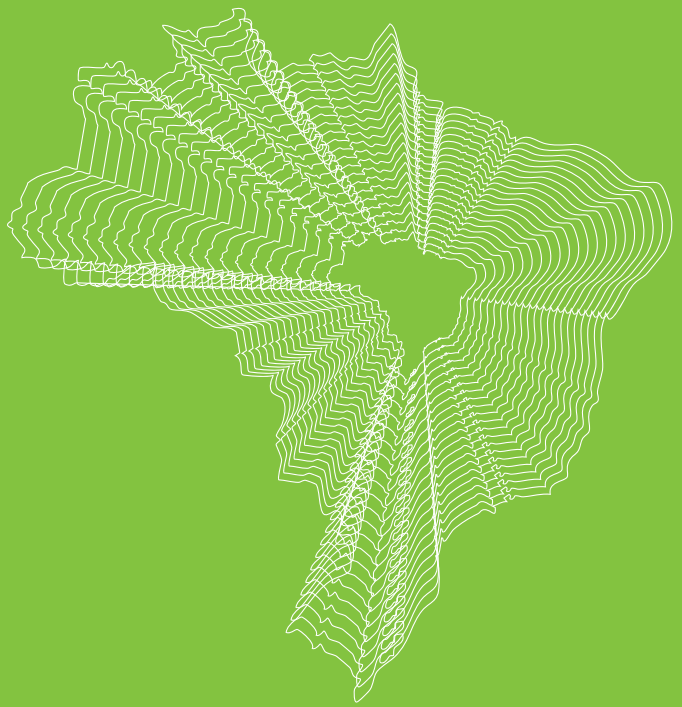
- Identificar, por meio do conhecimento do meio físico biótico do território, as soluções de infraestrutura mais adequadas e suas implicações em termos de funcionamento e resiliência às mudanças climáticas.

- Conhecer a base normativa da infraestrutura e suas interfaces com a urbanística no que se refere a sistema viário, mobilidade e saneamento ambiental.

- Identificar as lógicas de funcionamento dos diferentes subsistemas e sua importância para o projeto urbano e o planejamento urbano: sistema viário e sistema de saneamento ambiental (abastecimento, esgotamento, drenagem e resíduos sólidos).

1

A infraestrutura urbana no Brasil



Conhecer a situação do atendimento em saneamento ambiental das cidades brasileiras e orientar sobre onde obter informações para elaborar diagnósticos que permitam atuar para o alcance das qualidades de vida e ambiental são o foco deste capítulo. Afinal, qual o grau de prestação desses serviços e seus impactos sobre a vida das pessoas e dos ecossistemas?

Para responder à pergunta, é importante explicitar como o saneamento ambiental se insere no contexto global de políticas urbanas e quais indicadores têm sido adotados para mensurar as políticas públicas na área.

Box 1 - Saneamento ambiental brasileiro

O saneamento ambiental está contemplado na Política Nacional de Saneamento Ambiental, Lei Federal nº 11.445/2007, com alterações da Lei Federal nº 13.329/2016 e novas diretrizes definidas pelo Novo Marco Legal do Saneamento, Lei nº 14.026/2020.

Essas normas tratam de quatro subsistemas de infraestrutura (abastecimento, escoamento, drenagem e gestão de resíduos sólidos) e dispõem as interfaces deles com outras políticas públicas, com destaque para as de ordenamento territorial urbano, meio ambiente e saúde.

Desta forma, saneamento ambiental consiste em um conceito mais amplo do que o de “saneamento básico” adotado pelo Plano Nacional de Saneamento (Planasa), de 1969, que tratava apenas de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Indicadores para avaliar a qualidade de vida e ambiental das cidades

Para orientar as ações de ordenamento territorial urbano, seja por meio de ações de planejamento ou do projeto urbano, é preciso identificar o que melhor sintetiza e o que se entende por qualidade de vida e por qualidade ambiental. Daí surge a ideia de indicadores e parâmetros[1] de qualidade de vida e ambientais para apoiar a avaliação de políticas públicas, o que pressupõe a existência de um diagnóstico dos aspectos que caracterizam ambas as qualidades, de modo que se possa promover ações com assertividade e monitorar sua efetividade.

Os indicadores foram objeto de diversos estudos ao longo do século XX[2]. Como era de se esperar, os primeiros eram, sobretudo, econômicos e buscavam medir o estado do desenvolvimento dos países de acordo com suas performances econômicas. Hoje se tem um conjunto de indicadores que, apesar do predomínio da visão antropocêntrica[3], vem sendo utilizado na formatação de políticas públicas por agregarem mais do que os aspectos econômicos.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um desses indicadores. Ele foi apresentado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), por meio dos seus Relatórios de Desenvolvimento Humano, em 1990. Nele, a expressão "qualidade de vida" cede lugar a "desenvolvimento humano", conforme esclarece MORATO (2004, p. 20). No Brasil, desde o fim da década de 1990, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é o responsável pela composição do IDH e dos Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS); e, a partir de 2015, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), todos propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU) e dos quais o Brasil é signatário.

Box 2 – A origem do Índice de Desenvolvimento Humano

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) foi criado em 1990 por Mahbub ul Haq, economista paquistanês, em colaboração com Amartya Sen, economista indiano e ganhador do Prêmio Nobel de Economia de 1998. O Índice foi adotado pelas Nações Unidas como um meio de avaliar os avanços dos países-membro da organização, contemplando o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida de um país.

A medição do IDH é composta três dimensões: longevidade, medida pela expectativa de vida ao nascer; educação, mensurada pela taxa de analfabetismo de adultos e a taxa combinada de matrículas nos níveis primário, secundário e superior; e renda, medida pelo Produto Interno Bruto (PIB) real per capita ajustado para refletir as diferenças na Paridade do Poder de Compra (PPC) entre os países, expresso em dólares internacionais (MORATO, 2004).

O IDH é utilizado em trabalhos acadêmicos e governamentais para comparar o estágio de desenvolvimento dos países e constitui um avanço em

1 Segundo Soligo (2012), no começo da história e da evolução dos indicadores, predominava a exclusiva quantificação de pessoas, recursos ou equipamentos. A partir de 1920, e, principalmente, depois da Segunda Guerra Mundial, tudo mudou e a estatística deixou de ser exclusividade das ciências econômicas, passando a ser produzida por departamentos, agências e divisões de repartições públicas nacionais. Os indicadores sociais, segundo o autor, são mais recentes, embora seus marcos conceituais tenham surgido entre 1920 e 1930. Porém, foi na década de 1960 que houve a sistematização e a aferição do impacto das políticas sociais na sociedade e seus consequentes acompanhamentos. Nos anos de 1950 a 1970, a construção de indicadores de medição da qualidade de vida tinha foco na garantia de salubridade e no acesso a serviços pela população. Não havia, até então, uma relação direta de preocupações ambientais, no sentido mais amplo, de os seres humanos e outras espécies (da fauna e da flora) estarem dividindo o mesmo espaço e, assim, o uso deveria ser mais equilibrado para a produção das diferentes espécies e não apenas para o bem-estar dos indivíduos da espécie humana. A partir da década de 1980, o quadro começou a se inverter e a formulação e implementação de políticas públicas, como os planejamentos local e participativo, diminuíram os descréditos dos indicadores sociais, restabelecendo a pertinência instrumental.

2 MUELLER, C. C.; TORRES, M.; MORAIS, M. P. Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos. IPEA, Brasília, 1997.

3 O antropocentrismo consiste na visão de mundo que tem o homem como principal referencial. Ele está presente em praticamente todos os setores da sociedade contemporânea, servindo de justificativa para o consumo inconsciente e não sustentável dos recursos naturais.

relação à visão que adota exclusivamente o PIB (Produto Interno Bruto), um indicador econômico por excelência. Entretanto, ele não inclui nenhum aspecto relativo ao ordenamento territorial urbano. É certo que se pode dizer que longevidade possui relação com salubridade dos espaços, mas existem outras variáveis, além da distinção entre espaços urbanos e rurais. Apesar do avanço e da sua objetividade, o IDH ainda não considera muitos aspectos de difícil mensuração da qualidade de vida, tais como a percepção e a interpretação dos níveis de satisfação e de preferências individuais e coletivas; questões culturais e regionais; e referências à salubridade do espaço e condições de integridade ambiental.

Assim, o Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDS) surgiu no final da década de 1990 voltado para avaliar o grau de sustentabilidade em várias dimensões, como: (i) a ambiental, onde os aspectos referentes ao saneamento são os que mais diretamente se referem à condição do espaço urbano; (ii) a social, onde se destacam os dados de habitação; (iii) a econômica; e (iv) a institucional. Ele foi criado a partir de proposição da Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS) das Nações Unidas que editou, em 2001, o chamado Livro Azul. O IBGE publicou o primeiro relatório brasileiro em 2002, com edições em 2004, 2008, 2010, 2012 e 2015, quando passou a publicar os indicadores brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Isso ocorreu porque, em 2015, com o fim da vigência dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), estabelecidos em 2000, a ONU propôs um novo esforço global: a Agenda 2030, composta pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável[4] (ODS). Desde então, os países passaram a unificar os dados referentes à mensuração do que representaria um desenvolvimento sustentável. No Brasil, o IBGE seguiu sendo o responsável pela coleta dos dados e publicização dos ODS, levando à suspenção da publicação dos IDS.

Os ODS ampliam e definem, de forma clara, os parâmetros de mensuração dos seus 17 Objetivos, sendo os mais diretamente relacionados às cidades: o ODS 6 – Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos; e o ODS 11 – Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. Nos Quadros 1 e 2, a seguir, encontram-se correlações entre os descritores das metas e os subsistemas de infraestrutura urbana.

4 Saiba mais em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs.

Quadro 1 – ODS 11 - Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis

Até 2030	O que fazer
Garantir o acesso de todos a moradias e serviços básicos adequados, seguros e acessíveis e melhorar os bairros periféricos e favelas.	Saneamento
Garantir acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis e sustentáveis para todos, melhorando a segurança viária, notadamente por meio da expansão do transporte público, com atenção especial às necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos.	Mobilidade e sistema viário
Melhorar a urbanização inclusiva e sustentável e a capacidade de planejamento e gestão participativa, integrada e sustentável de assentamentos humanos em todos os países.	Não se aplica diretamente
Fortalecer os esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo.	Não se aplica diretamente

Até 2030	O que fazer
Reduzir significativamente o número de mortes, de pessoas afetadas e de perdas econômicas causadas por desastres, incluindo desastres relacionados à água, com foco na proteção dos mais pobres e das pessoas em situação de vulnerabilidade.	Ocupação do solo e drenagem
Reduzir o impacto ambiental *per capita* adverso das cidades, inclusive prestando atenção especial à qualidade do ar e à gestão de resíduos municipais e outros.	Gestão de resíduos
Garantir acesso universal a espaços verdes públicos, seguros, inclusivos e acessíveis, em particular para mulheres e crianças, idosos e pessoas com deficiência.	Ocupação do sol e drenagem
Apoiar vínculos econômicos, sociais e ambientais positivos entre áreas urbanas, periurbanas e rurais, fortalecendo o planejamento do desenvolvimento nacional e regional.	Não se aplica diretamente
Aumentar consideravelmente o número de cidades e assentamentos humanos que adotam e implementam políticas e planos integrados para promover a inclusão, o uso eficiente de recursos, a mitigação da mudança global do clima e a adaptação à resistência aos desastres, ao desenvolver e colocar na prática, em consonância com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, a gestão integral dos riscos de desastres em todos os níveis.	Ocupação do solo e drenagem
Apoiar os países menos desenvolvidos, inclusive por meio de assistência técnica e financeira, na construção de edifícios sustentáveis e resilientes utilizando materiais locais.	Não se aplica diretamente

Fonte: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS/ONU)

Quadro 2 – ODS 6 - Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos

Até 2030	O que fazer
Alcançar o acesso universal à água potável segura e acessível para todos.	Abastecimento de água
Alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos e acabar com a defecação a céu aberto, prestando atenção às necessidades de mulheres e meninas e àquelas em situação de vulnerabilidade.	Esgotamento sanitário
Melhorar a qualidade da água reduzindo a poluição, eliminando o despejo e minimizando a liberação de materiais perigosos, reduzindo pela metade a proporção de águas residuais e aumentando substancialmente a reciclagem e a reutilização segura em todo o mundo.	Tratamento de esgotos, drenagem e gestão de resíduos
Aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e garantir retiradas sustentáveis e fornecimento de água doce para lidar com a escassez de água e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água.	Gestão das águas urbanas
Implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive por meio da cooperação transfronteiriça, conforme apropriado.	Gestão das águas urbanas (indiretamente)
Proteger e restaurar ecossistemas relacionados à água, incluindo montanhas, florestas, pântanos, rios, aquíferos e lagos.	Gestão das águas urbanas (indiretamente)
Expandir a cooperação internacional e o apoio à capacitação para países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo coleta de água, dessalinização, eficiência hídrica, tratamento de águas residuais, reciclagem e tecnologias de reutilização.	Gestão das águas urbanas (indiretamente)
Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais na melhoria da gestão da água e do saneamento.	Gestão das águas urbanas (indiretamente)

Fonte: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS/ONU) com complementos da autora.

Em síntese, ao se observar as metas dos ODS 6 e 11, verifica-se que os aspectos que definem qualidade ambiental urbana estão divididos em dois níveis: (i) naturais, relativos à integração entre o ambiente construído e a natureza (clima, ar, água, solo e subsolo, fauna e flora), e (ii) antrópicos, relativos ao nível de ordenamento territorial (índices urbanísticos de uso e ocupação do solo e adequação da tecnologia de infraestrutura ao ambiente).

Assim, ao fim deste tópico, espera-se que tenham ficado claras as relações entre infraestrutura urbana de saneamento e sistema viário com a promoção da qualidade de vida e ambiental das cidades e, por conseguinte, o alcance da sustentabilidade ambiental urbana, para a qual os ODS 6 e 11 se colocam como caminho a ser perseguido em nossa atuação profissional.

1.2 Como se encontram os indicadores de infraestrutura urbana de saneamento no Brasil

Conhecer a realidade sobre as condições da infraestrutura urbana das cidades é obrigação profissional para uma assertiva formulação das propostas de ordenamento territorial e demais estudos do Plano Diretor municipal, pois é nele que são estabelecidas as diretrizes de adensamento, expansão, definição de uso de solo e padrões de ocupação em função da infraestrutura existente ou da sua ampliação.

Mas, qual o grau de prestação desses serviços e quais são seus impactos sobre a vida das pessoas e dos ecossistemas? E de quem é a competência do levantamento de informações sobre o saneamento ambiental no Brasil?

De início, deve-se saber que a competência constitucional, definida pelo artigo 182 da Constituição Federal, ou a titularidade dos serviços de saneamento ambiental (abastecimento, esgotamento, drenagem e gestão de resíduos), é do município e não do estado ou do governo federal. É assim com o ordenamento territorial como um todo, ou seja, a obrigação de realizar o planejamento urbano e definir seu Plano Diretor.

De todo modo, cabe a emissão de diretrizes federais para o desenvolvimento urbano relacionadas ao saneamento básico, aos transportes urbanos e à habitação (artigo 21 da Constituição), bem como à elaboração de pesquisas e censos sobre temas urbanos. É importante registrar que os dados sobre saneamento básico e saneamento ambiental levantados pelo IBGE não eximem estados e municípios de realizarem suas pesquisas.

Contudo, antes de entrarmos na realidade da escassez de infraestrutura urbana no Brasil, é importante ter em conta as razões históricas da urbanização brasileira que levaram à falta desses investimentos nas cidades.

1.2.1 Por que as cidades brasileiras possuem grande escassez de infraestrutura urbana?

Historicamente, as cidades no Brasil eram muito pequenas e sem maior relevância para a economia do país, até então muito voltado ao mundo rural, onde vivia a maioria da população. Essas condições mudaram um pouco na década de 1930, com uma pequena industrialização na região Sudeste, mas foi a partir dos anos de 1950/60 que o país se voltou para a industrialização e para a mecanização do campo, passando por um processo de urbanização intenso. A população das áreas rurais se dirigia para as cidades à medida em que aumentava a concentração de terras na forma de grandes fazendas mecanizadas[5].

De forma muito sintética, esse movimento fez com que imensas massas populacionais sem qualificação para

5 Aqui o tema é apresentado como pano de fundo para entender em que condições se deu o crescimento das cidades, mas a questão envolve conhecimento de economia, história e política. Para melhor compreensão, existe amplo material sobre o assunto, como: VILLAÇA, Flávio. *Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil.* In: DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos (org.) *O processo de urbanização no Brasil.* São Paulo: EdUSP, 1999. p. 169 – 243.

empregos urbanos, ou recursos, se dirigissem às cidades em busca de emprego e moradia. Os núcleos urbanos, por sua vez, não estavam preparados, nem tecnicamente nem politicamente, para responder às necessidades de novos moradores.

Sem políticas públicas urbanas e recursos para investimentos, os pobres foram entregues ao mercado primitivo de terras urbanas, o que os fez se alocarem, de qualquer forma, nas regiões mais carentes de infraestrutura das cidades. Formaram-se imensas áreas irregulares e sem nenhuma infraestrutura, muitas delas existentes até hoje, com seu ápice de crescimento na década de 1970.

O poder público local, que não possuía políticas, programas e nem recursos para responder às novas demandas, também não cuidava de fiscalizar o que estava ocorrendo. Aos poucos, foram se formando áreas urbanas melhor estruturadas, onde moravam as populações já instaladas nas cidades e os donos de terras rurais. Os espaços ocupados pelos migrantes da zona rural tinham a urbanidade negligenciada. As áreas mais tradicionais, consideradas regulares, continuaram a receber os poucos investimentos que as prefeituras tinham, alimentando um ciclo vicioso de desigualdades.

Na década de 1970, a população urbana ultrapassou a rural pela primeira vez. Em 1990, cerca de 80% da população do Brasil já vivia nas cidades, em um processo extremamente rápido, quase sem paralelo em outro local do mundo. De acordo com o Censo de 2022, temos 84% da população vivendo em cidades. Mesmo sabendo que o quadro atual é fruto das condições socioeconômicas e políticas que ocorreram no passado, e que geraram uma urbanização desigual, deve-se ter em conta que foram muito tímidas as ações transformadoras das últimas décadas.

Conhecer como se comporta essa escassez no país, nas diferentes regiões e mesmo dentro de uma mesma cidade, e ainda analisar a necessidade de investimentos e opções tecnológicas a serem adotadas, é um caminho a ser trilhado por quem está envolvido nas soluções das demandas das cidades brasileiras.

Acabar com a desigualdade no acesso aos serviços de saneamento no Brasil e atingir a meta de universalização do atendimento, estabelecida pela atual política de saneamento, não é tarefa fácil. Isso se deve, entre outros aspectos, ao fato de que as moradias sem atendimento se localizam, predominantemente, em municípios de baixo desenvolvimento humano e/ou de pequeno porte ou, ainda, em periferias e áreas de urbanização informal e precária dos grandes centros urbanos.

Tabela 1 – Distribuição dos sistemas de infraestrutura por região e população atendida

Abastecimento de Água		
Região	População atendida (%)	População sem acesso (%)
Norte	64,2	35,8
Nordeste	76,9	23,1
Centro-Oeste	89,8	10,2
Sudeste	90,9	9,1
Sul	91,6	8,4
Brasil	84,9	15,1
Coleta de Esgotos		
Região	População atendida (%)	População sem acesso (%)
Norte	14,7	85,3
Nordeste	31,4	68,6
Centro-Oeste	62,3	37,7
Sudeste	80,9	19,1
Sul	49,7	50,3
Brasil	56,0	44,0

Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos		
Região	População atendida (%)	**População sem acesso (%)**
Norte	79,2	20,8
Nordeste	84,5	15,5
Centro-Oeste	90,3	9,7
Sudeste	95,7	4,3
Sul	91,9	8,1
Brasil	90,4	9,6
Drenagem e Manejo das Águas Pluviais		
Região	População atendida (%)	População sem acesso (%)
Norte	61,2	38,8
Nordeste	58,6	41,4
Centro-Oeste	81,0	19,0
Sudeste	93,2	6,8
Sul	97,4	2,6
Brasil	80,8	19,2

Fonte: Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS)[6] Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel

1.3 As diferentes fontes de dados sobre saneamento no país

As melhores fontes de pesquisa sobre saneamento estão no âmbito federal[7], ou seja, em órgãos como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); o Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), o Ministério das Cidades (MCid); e a Agência Nacional de Águas (ANA).

6 Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_saneamento/#/homeFonte: Cidades IBGE

7 Há exceções entre municípios grandes e com mais recursos, que contam com seus próprios institutos de pesquisa, mantendo-os continuadamente atualizados e realizando projeções de dados socioeconômicos, ambientais etc. Mas estes são poucos no universo de 5.571 municípios do país.

O mapeamento de dados sobre o tema teve início em 1974 e, ao longo dos anos, as pesquisas foram ampliando a abrangência em conformidade com as alterações conceituais sobre o que é saneamento. Associadas à ampliação do escopo, também ocorreram mudanças metodológicas[8], mas que não impedem uma comparação histórica, fator relevante para amparar as decisões técnicas e políticas sobre saneamento.

Pesquisas sobre saneamento – entendido como abastecimento e esgotamento sanitário – marcam o início das pesquisas realizadas pelo IBGE, tendo ficado aquelas sobre sistema viário, drenagem e gestão de resíduos a cargo dos municípios. Hoje, o Instituto atua nos quatro componentes do saneamento ambiental (abastecimento, esgotamento, drenagem e gestão de resíduos), sendo que o abastecimento e o esgotamento possuem as séries históricas mais longas e de maior confiabilidade já realizadas. A contabilidade dos dados também se altera em função da metodologia adotada por cada uma das instituições que realizam pesquisas.

O primeiro levantamento em nível nacional sobre saneamento (abastecimento de água e esgotamento sanitário) foi realizado pelo IBGE em 1977, quando foi definido que teria periodicidade trienal, o que não se concretizou. A segunda edição da pesquisa foi retomada em 1989, quando foi estruturada a metodologia para integrar novas variáveis passando os dados a serem obtidos pelo Censo, a PNAD e o SNIS.

8 Os subsistemas de abastecimento e esgotamento eram os únicos pesquisados até o início da década de 2000, quando foram incluídas a drenagem e a gestão de resíduos.

Tabela 2 – Dados dobre saneamento, segundo as diversas fontes

Censo Demográfico	PNAD	SNIS (AE)	PNAD e SNIS (AE)	Censo Demográfico, PNSB e SNIS (AE)	PNAD e SNIS (AE)
1991	1992 e 1993	1994	1995 a 1999	2000	2001 e 2002
PNAD e SNIS (AE, RS)	PNAD e PNSB	PNAD e SNIS (AE, RS)	Censo Demográfico e SNIS (AE, RS)		PNAD e SNIS (AE, RS)
2003 a 2007	2008	2009	2010		2011 a 2014

Fonte: ***Atlas de Saneamento.***

Legenda:

PNAD – Programa Nacional por Amostra de Domicílios;
PNSB – Programa Nacional de Saneamento Básico;
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento;
AE – Água e Esgoto (SNIS);
RS – Manejo dos Resíduos Sólidos (SNIS);

1.3.1 Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) surgiu em 2000, sendo a mais abrangente realizada até então. Além das variáveis de abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos, passa a incluir o componente de drenagem urbana. Foram produzidas mais duas edições da PNSB, pelo IBGE, em 2008 e 2017. Aos poucos, além dos dados de atendimento, foram introduzidas avaliações da oferta e da qualidade dos serviços prestados, o que possibilitou a análise das condições ambientais, de saúde e de qualidade de vida da população.

Box 3 – Principais aspectos levantados na PNSB

- Captação e análise da água;
- Volume de água distribuída (tratada ou não);
- Extensão das redes de abastecimento de água;
- Esgotamento sanitário;
- Tratamento de esgoto;
- Locais de destinação;
- Extensão das redes de esgotamento sanitário;
- Pontos de lançamentos da rede de drenagem urbana;
- Extensão das redes de drenagem urbana;
- Fatores agravantes de enchentes ou inundações e de erosões;
- Volume dos resíduos sólidos coletados;
- Frequência da coleta;
- Destino final dos resíduos sólidos e coleta de resíduos sólidos especiais.

Fonte: ***Cidades IBGE***.

A partir de 2004, o IBGE passou a editar o Atlas de Saneamento com o objetivo de fazer uma leitura geográfica das estatísticas contidas nas PNSB. Foram elaboradas as edições de 2011 e de 2021[9]. O Atlas destaca as distinções entre os diferentes componentes do saneamento e entre municípios e regiões por meio de um conjunto de mapas que possui agregação por município.

1.3.2 Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD)

Outra fonte de dados sobre as condições de saneamento no país é a Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD). Realizada pelo IBGE desde 1967, tem como finalidade obter informações básicas para o estudo do desenvolvimento socioeconômico do Brasil. Entre 1967 e 1970, seus resultados eram apresentados

9 O Atlas está disponível para download em: https://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm

com periodicidade trimestral; a partir de 1971, os levantamentos passaram a ser anuais, elaborados no último trimestre do ano. Ao longo dos anos, os aspectos levantados foram sendo acrescidos e, a partir de 1992, passou a contar com informações sobre as características da unidade domiciliar, incluindo condições de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos.

A PNAD é relevante para monitorar a meta de universalização, que consta do Plano e da Política Nacional de Saneamento, previstos na Lei Federal nº 11.445/2007.

1.3.3 Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)

Em 1994, o governo federal criou o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) para realizar a coleta anual de dados junto às companhias estaduais, autarquias, empresas e departamentos municipais e empresas privadas. Em 2003, o sistema passou a incluir dados de resíduos sólidos urbanos e, em 2015, de drenagem. As informações sobre a drenagem são coletadas junto aos órgãos municipais encarregados da gestão dos serviços.

Coordenado pelo Ministério das Cidades, o SNIS coleta informações que são prestadas de modo voluntário, por meio de formulário disponibilizado eletronicamente. Desta forma, o sistema não possui o mesmo grau de confiabilidade das pesquisas sob coordenação o IBGE, dado não ser obrigatório. Muitos municípios não enviam seus dados, comprometendo uma análise homogênea da variação geográfica dos serviços de saneamento básico no Brasil. Apesar de continuar voluntária, a participação dos municípios tem aumentado nos últimos anos devido aos vários incentivos criados pelo Ministério das Cidades.

1.3.4 Pesquisa Urbanística do Entorno dos Domicílios

A Pesquisa Urbanística do Entorno dos Domicílios foi uma inovação introduzida no Censo Demográfico de 2010 e consiste na coleta de informações sobre a vizinhança dos domicílios, com destaque para aspectos relacionados à circulação e ao meio ambiente, como: identificação do logradouro, iluminação pública, pavimentação, calçada, meio-fio/guia, bueiro/boca de lobo, rampa para cadeirante, arborização, esgoto a céu aberto e acúmulo de lixo.

No Censo 2022, o IBGE retomou a Pesquisa do Entorno com algumas alterações para incluir todos os tipos de aglomerados, estejam eles em áreas regulares ou setores especiais, como os aglomerados subnormais e comunidades de povos tradicionais. Seu foco não se refere ao saneamento, mas gera subsídios para outras infraestruturas urbanas essenciais, como é o caso do sistema viário, pois contém informações sobre acessibilidade universal, prioridade dos modos de transporte não motorizados sobre os motorizados, assim como os serviços de transporte público coletivo sobre o individual motorizado, qualidade das calçadas e segurança viária.

Esta pesquisa teve como propósito inicial gerar informações para atender algumas das demandas advindas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), e da Nova Agenda Urbana, compromissos internacionais assumidos pelo Brasil.

1.3.5 Censos Demográficos

Iniciado em 1872, o Censo da População Brasileira constitui a mais relevante e ampla base de informações sobre o país. Sua segunda edição ocorreu em 1890, quando

passou a realizado a cada dez anos, com interrupções em em 1910, 1930 e 2020. Dele decorrem as demais pesquisas divulgadas pelo IBGE, realizadas a partir de projeções e amostragens.

"Os Censos Demográficos realizados pelo IBGE são a fonte de referência mais adequada para a análise das condições de vida da população, pois são pesquisados todos os municípios do Brasil e seus recortes territoriais internos – distritos, subdistritos, bairros, além de fazer a classificação de acordo com a localização dos domicílios em áreas urbanas ou rurais, permitindo o conhecimento da evolução da distribuição territorial da população do Brasil, além das características socioeconômicas da população e dos domicílios" (IBGE, 2010a).

Para um pesquisador que estuda a organização espacial é muito importante conhecer os recortes dos setores censitários, pois todos os dados levantados pelo IBGE se referem a eles e possibilitam a sistematização dos dados em uma base geográfica. O setor censitário é a menor unidade territorial, formada por área contínua urbana ou rural, possui dimensão para operacionalização das pesquisas e seu conjunto conforma a totalidade do território nacional. Todas as pesquisas do IBGE possibilitam acesso eletrônico com desagregação por setor censitário, onde se pode obter a camada de dados que interessa, seja no tema da infraestrutura, condições da edificação, demografia ou outros dados socioeconômicos.

Além do censo propriamente dito, o IBGE também faz o Atlas do Censo Demográfico. A base apresenta uma visão geográfica e interligada dos dados estatísticos, traçando o perfil da população brasileira com ênfase nas diferenças regionais e locais.

1.4 Evolução das condições de saneamento ambiental a partir das pesquisas nacionais

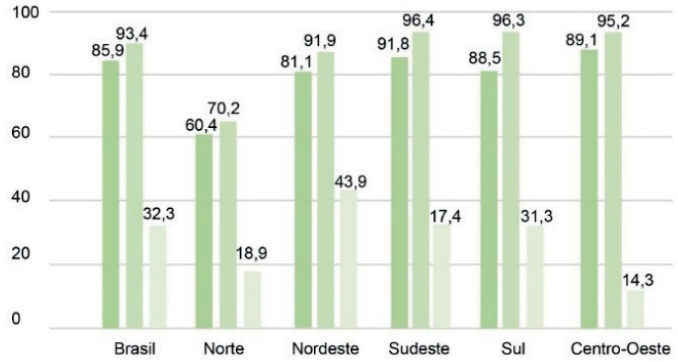
Tendo como base o Censo de 2022 são apresentadas a seguir as condições gerais de atendimento por infraestrutura de saneamento das regiões e municípios brasileiros. A análise dos municípios tem como referência a PNAD, pois os dados do Censo de 2022 ainda não foram desagregados a esse nível. Assim, é possível verificar que os níveis de atendimento, apesar de terem variado, mantém suas assimetrias tanto entre os componentes (abastecimento, esgotamento, drenagem e resíduos) como entre as regiões geográficas e entre centro e periferia das grandes cidades.

1.4.1 Abastecimento de água

O serviço de abastecimento de água por rede se inicia pela retirada da água bruta da natureza, adequação da sua qualidade, transporte e fornecimento à população por meio de uma rede geral de distribuição. Há que se considerar, ainda, outras formas de abastecimento existentes (chafarizes, bicas, minas, poços particulares, carros-pipas, cisternas etc.), especialmente em áreas de baixa renda nas cidades e em áreas rurais. O acesso da população à água de boa qualidade e em quantidade adequada está diretamente ligado à promoção da saúde, pois contribui para reduzir a ocorrência de diversas doenças transmissíveis pela veiculação hídrica.

De acordo com o Censo de 2022, 93,4% da população urbana é atendida por rede geral de distribuição (somando outras formas, como poços e nascentes, chega 94,4%). Em 2010, esse número era de 81,5% (somando todos os acessos era 89%). Dados da PNAD 2022 mostram que esse índice vem crescendo, aproximadamente, 1% ao ano, sendo o subsistema de abastecimento de água de melhor atendimento no país.

Gráfico 1 – Domicílios com rede geral como principal forma de abastecimento de água (%)



Fonte: PNAD 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html

No que se refere à distribuição regional, nas regiões Sul e Sudeste o serviço está presente em todos os municípios, atingindo mais de 96% dos domicílios urbanos, índice próximo ao verificado no Centro-Oeste (95,2%) e um pouco menor no Nordeste (91,9%). O Norte é onde existe o nível mais baixo de atendimento domiciliar nas áreas urbanas (70,2%).

Quanto ao tratamento, os dados apontam que 88,3% dos municípios possuem Estações de Tratamento de Água (ETA) ou Unidades de Tratamento Simplificado (UTS)[10]. É importante registrar, contudo, que esses dados se referem à média nacional. Na região Norte a ausência de tratamento chega a 21,6% e no Nordeste a 24,2% dos municípios.

O grau de perda de água no sistema é outro aspecto relevante a ser analisado, pois ele é muito alto no país e refere-se à gestão do sistema, seja a operação direta ou indireta (empresa pública ou privada). Entende-se por perda a água que é captada no manancial de abastecimento, tratada e que não chega aos usuários devido a canalizações defeituosas, por exemplo. Esse cenário atinge 40% da água captada – e isso é muito!

Segundo relatório do Instituto Trata Brasil, uma organização social que acompanha as condições de saneamento no país e que se valeu de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, ano-base 2022), esse percentual é de 37,78%. Para efeito de comparação, em 2010 o índice nacional era de 38,8%, o que demostra que não houve avanços significativos nesse aspecto[11].

Box 4 – Perdas no sistema de abastecimento de água

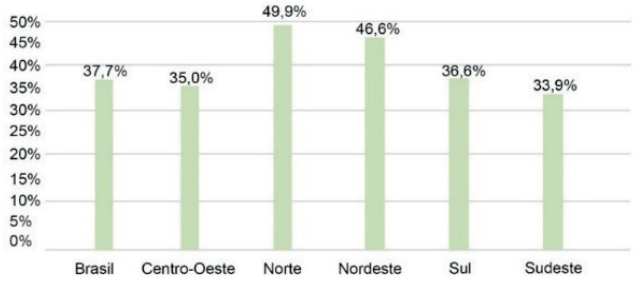
Para entender o impacto das perdas, considerando somente as perdas físicas (vazamentos), o volume (mais de 3,6 bilhões de m^3) seria suficiente para abastecer, aproximadamente, 54 milhões de brasileiros por um ano. Esta quantidade não somente equivale a mais de um quarto da população do país, em 2022, como também está bastante acima do número de habitantes sem acesso ao abastecimento de água no mesmo ano, cuja grandeza situa-se em torno de 32 milhões de pessoas.

Fonte: Instituto Trata Brasil, 2022.

10 Uma Unidade de Tratamento Simplificado (UTS) é um local que trata a água captada de fontes naturais, como rios, represas ou lençóis freáticos, para abastecer uma população. É menos complexa que uma Estação de Tratamento de Água (ETA) e seu tratamento consiste em cloração e fluoretação.

11 Pode também ser analisada no sítio do SNIS: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis.

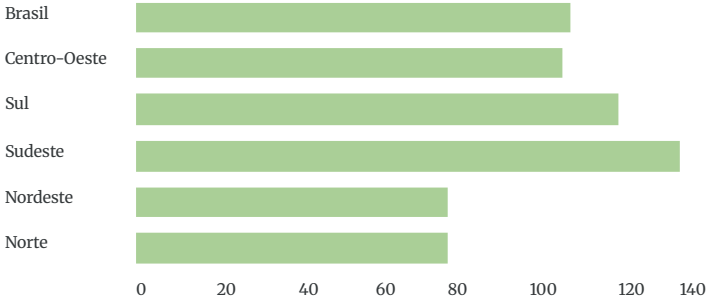
Gráfico 2 – Perdas na distribuição de água por microrregião brasileira



Fonte: SNIS, 2022 Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel

Outro indicador relevante é o consumo de água por habitante que, no Brasil, também é muito alto. Cada unidade, residencial ou não, consome, em média, 382,1 litros por dia. Considerando que maioria das edificações é residencial (91,4%), e se utilizada uma média de três moradores por domicílio, haverá um consumo diário de 116 litros por dia, por habitante. A Organização das Nações Unidas (ONU) recomenda o consumo de 110 litros por dia, por habitante, mas todas as regiões do país possuem um consumo maior.

Gráfico 3 – Uso de água per capita por famílias e região



Fonte: Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento (ONDAS), elaborado com dados do documento Contas Econômicas e Ambientais da Água, IBGE/ANA, 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/20207-contas-economicas-ambientais-da-agua-brasil.html

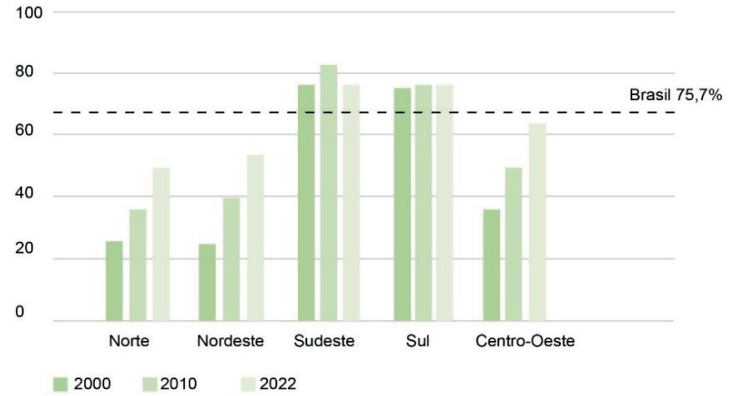
1.4.2 Esgotamento sanitário

O esgotamento sanitário pode ocorrer por vários sistemas, sendo a modalidade por rede a mais difundida. Esse sistema consiste em um conjunto de tubulações e acessórios destinados a coletar nas residências os dejetos, conduzi-los a uma estação de tratamento e, posteriormente, a um curso de água que tenha capacidade de absorver o volume lançado, sem gerar poluição das águas. O esgotamento sanitário é fundamental em termos de qualidade de vida, pois sua ausência leva à poluição de recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, e acarreta prejuízos à saúde da população.

As duas soluções de esgotamento sanitário mais comuns no Brasil são a rede geral e a fossa séptica não ligada à rede, que passou a ser considerada adequada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB). Segundo o Censo de 2022, a rede de coleta de esgoto atendia a 62,5% da população. Se considerados outros tipos de esgotamento, como fossa séptica, esse índice chega a 75,7%. Em 2010, os percentuais eram 52,8% e 64,5%, respectivamente. O destaque fica por conta de 49 milhões de pessoas (24,3% da população) que ainda não dispõem de qualquer tipo de esgotamento sanitário.

As disparidades regionais relativas ao esgoto são mais marcantes do que no abastecimento de água, pois no Norte há 46,6% de atendimento; no Nordeste, 58,1%; no Sul, 83,9%; no Centro-Oeste, 73,4%; e no Sudeste, 90,6%; como se verifica na Figura 3. Existe, ainda, 5,2% atribuídos as outras modalidades – que não rede coletora e fossa séptica – para se alcançar o índice de 75,7%.

Gráfico 4 – Moradores em domicílios, por região, com esgotamento sanitário por rede coletora, pluvial ou fossa séptica (%)

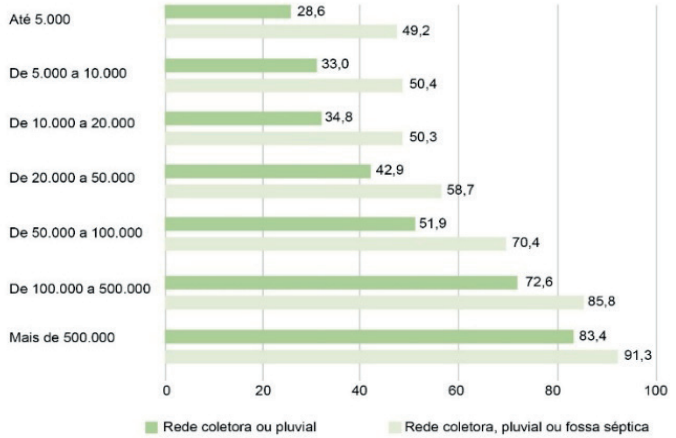


Fonte: Censos do IBGE, 2022.

Os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2017 também mostram que, já naquela época, o índice era de 60,3%, o que significa que os avanços dos últimos sete anos não foram expressivos.

O atendimento por esgotamento é impactado por aspectos como o padrão de ocupação do solo, a renda e o tamanho da cidade. Municípios acima de 500 mil habitantes atingem quase 90% de atendimento; entre os que possuem de 100 a 500 mil habitantes; o atendimento fica na média nacional; já as piores coberturas estão nos municípios pequenos, com menos de 50 mil habitantes. Entre estes, concentram-se cidades quase rurais, de baixa de densidade e estrutura urbana dispersa (densidade demográfica menor que 80 habitantes por quilômetro quadrado), o que acarreta maior custo por habitante para o fornecimento dos serviços de coleta de esgoto.

Gráfico 5 – Moradores em domicílio com esgotamento sanitário por rede coletora ou fossa séptica, segundo o tamanho da população do município (%)



Fonte: Censo do IBGE, 2022.

Para se obter condições sanitárias adequadas, não basta que o esgoto seja coletado por meio de uma rede, é necessário que, também, seja tratado, caso contrário os recursos hídricos serão poluídos e haverá proliferação de doenças, como a diarreia – que ocorre devido à contaminação da água por coliformes fecais, causando prejuízo à saúde da população e o aumento da mortalidade infantil.

Nesse aspecto, a PSBN de 2017 aponta que somente 62,8% dos municípios possuíam serviços de tratamento em funcionamento na modalidade Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). No cenário regional, eram tratados 37,3% dos esgotos no Nordeste; 61,6% no Sudeste; 59,3 % no Centro-Oeste; 30,6% no Norte; 48,0% no Sul, sendo a média nacional de 47,36%.

Deve-se ressaltar que os níveis de tratamento podem variar entre as diferentes modalidades de tratamento

(preliminar, primário, secundário e terciário, em ordem crescente de eficiência). Tendo em conta essa informação, destaca-se que 69,8% do volume tratado recebia tratamento do tipo secundário (oxidação da carga orgânica pela ação de microrganismos); 21,9% terciário (retirada de poluentes como nutrientes, patogênicos, sólidos inorgânicos dissolvidos e em suspensão); 5,9% primário (remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e de sólidos flutuantes); e 2,4% tratamento apenas preliminar (retirada de óleo, detritos flutuantes e areia).

1.4.3 Manejo de águas pluviais

O manejo das águas pluviais urbanas possui relação direta com as formas de ocupação do solo urbano, definidas pelo Plano Diretor. A excessiva pavimentação dos espaços urbanos leva à impermeabilização do solo, provocando o aumento do escoamento superficial, em detrimento da infiltração das águas. Esse é um tema instigante e que será discutido de forma aprofundada no capítulo 6. O que se deve saber desde já é que o sistema de drenagem por tubulações, que visa à captura do escoamento superficial, é a solução mais difundida, mas é possível a adoção de outros tipos de sistema de drenagem, como os que privilegiam a infiltração.

Contudo, neste momento vamos tratar do sistema de drenagem tradicional, ou seja, o que captura as águas em galerias subterrâneas, que é o que as pesquisas procuram mensurar. Os dados sobre os sistemas de drenagem começaram a ser coletados na PNSB de 2008 e pelo SNIS em 2015. Ao longo desse percurso, os indicadores foram se aprimorando, apesar de ainda ser um desafio mensurar os sistemas de drenagem.

Nas primeiras pesquisas, a existência de vias pavimentadas foi considerada como um indicador, no pressuposto de que todas contariam com sarjeta e meio-fio, o que não é a realidade das cidades brasileiras. Certamente, a pavimentação, se adequadamente executada, deveria contar como uma pequena parte da drenagem, ou seja, a parte que se refere à drenagem superficial no sistema tradicional: sarjeta e meio-fio. Sobre a escolha desse indicador, existe a contradição de que quanto mais pavimentação maior a impermeabilização do solo e, portanto, maior o escoamento superficial, o que coloca em descrédito o indicador como eficiência de drenagem.

O que ocorre nas cidades com o aumento da pavimentação, sem implantação de drenagem superficial e em áreas onde o solo e a declividade não são propícios à urbanização, é que a impermeabilização tem representado um catalisador para a ocorrência de eventos de erosão, assoreamentos, alagamentos e inundações.

Tomando como referência a última PNSB, de 2017, os dados apontam que (no caso da drenagem, a prefeitura é quem informa os dados) 51,8% dos municípios possuem sistemas de águas pluviais do tipo exclusivo; 23,9% do tipo sistema unitário (esgotamento sanitário junto com drenagem); e 6,5% possuem outros tipos de sistema de drenagem. Por fim, 17,9% dos municípios não contam com sistema de drenagem.

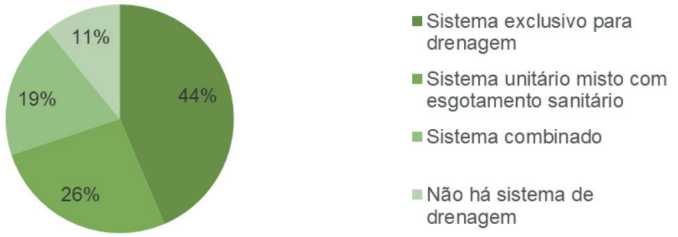
Box 5 – Sobre o sistema de águas pluviais

Um sistema de água pluviais exclusivo significa possuir vias pavimentadas com sarjetas e meio-fio que conduzem as águas para as bocas de lobo, responsáveis por fazer a transição para a drenagem subterrânea constituída pelas galerias, e, dessas, ao emissário que chega ao corpo receptor de lançamento.

Tendo como referência o SNIS 2019, que utiliza uma metodologia diferente da aplicada pelo IBGE, encontra-se a mesma tendência: 54,3% dos municípios com

sistema separador; 22,5% com sistema unitário; e 5,1% com sistemas próprios. A contradição aparece em 2022, quando o SNIS aponta 43,6% dos municípios com sistema exclusivo para drenagem; 10,9% com sistema unitário; 26,3% com sistema combinado; e 19,2% sem sistema de drenagem.

Gráfico 6 – Distribuição dos tipos de drenagem urbana no Brasil (percentual de municípios por sistema)



Fonte: Adaptado de SNIS, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel

A redução no percentual de municípios com sistema exclusivo, verificada na pesquisa de 2022, se deve ao aumento da participação na pesquisa, que é voluntária. Esses novos municípios devem ter uma drenagem pior – impactando no resultado. Mas, a tendência continua apontando para um número próximo a 50% dos municípios com sistemas de drenagem, o que é coerente com a realidade vivenciada nos noticiários sobre grandes alagamentos e inundações pelo país. De qualquer sorte, contar com dados mais confiáveis é a única forma de enfrentar o problema e definir políticas públicas para que seja superada a atual condição urbana de insalubridade e riscos para a população e de impactos sobre os ecossistemas.

Para avançar um pouco sobre as possibilidades de indicadores de mensuração da drenagem tradicional se pode considerar, por exemplo: (i) taxa de cobertura de pavimentação e meio-fio, na área urbana do município – o que tem sido adotado; (ii) taxa de vias públicas urbanas com redes ou canais pluviais subterrâneos e presença de bocas de lobo para transição da rede superficial à subterrânea, e ainda as galerias de coleta e destinação final dos efluentes aos cursos d'água receptores; e (iii) taxa de áreas permeáveis públicas como parques, bosques e corredores verdes, Áreas de Preservação Ambiental (APP) e outras grandes áreas verdes que possibilitem a infiltração.

Realizar pesquisas utilizando outros indicadores é possível. Nesse sentido, o SNIS desenvolveu um piloto com 523 municípios (10,8% do total de municípios brasileiros). Foram mapeados 816,6 mil quilômetros de vias públicas com pavimentação e meio-fio. Desse total, 294,6 mil quilômetros têm redes ou canais de águas pluviais subterrâneos, o que significa, mais ou menos, um terço das vias. Além disso, foram identificados 8,4 milhões de pontos de captação de águas nas vias com galerias (bocas de lobo), número que está na densidade média. Entre os participantes, 286 municípios (5,9% da amostra) contavam com reservatórios ou bacias de retenção e detenção (lagos, piscinões ou tanque artificial superficial ou subterrâneo).

Quanto aos espaços públicos urbanos com soluções de drenagem natural (faixas ou valas de infiltração), somente 7,4% apontaram presença de parques lineares. Na pesquisa piloto, o entendimento de parque lineares refere-se a estruturas instaladas nas margens de corpos hídricos, contribuindo para evitar a ocupação irregular de áreas de várzeas, ampliar áreas para as cheias naturais dos rios e reduzir a velocidade da água à jusante durante eventos hidrológicos impactantes (enxurradas oriundas de grandes chuvas decorrentes de picos climáticos).

No SNIS 2022 também foram identificados aspectos

de gestão da drenagem, onde 98,0% dos municípios apontaram serem os executores diretos dos serviços. Essa situação é diferente dos subsistemas de abastecimento e esgotamento, onde predominam as empresas estaduais e/ou privadas. Por outro lado, sobre a obrigatoriedade de elaboração do Plano de Drenagem Urbana, apenas 16,8% possuem esse instrumento e 42,5% têm cadastros técnicos do sistema de drenagem. Assim, mais uma vez, não é de admirar os grandes desastres urbanos associados à drenagem.

Os riscos associados à drenagem no contexto das mudanças climáticas também foram pesquisados. Dos 4.833 municípios participantes da coleta de 2022, cerca de 49,3% disseram não possuírem riscos; 24,1% apontaram riscos pequenos; 26,2% riscos moderados e 0,4% riscos grandes, ou seja: 17 municípios em um universo de 4.833! Como as respostas levaram a uma certa incoerência com o observado na realidade, houve a checagem com outra bateria de perguntas que, de forma indireta, indica a existência de riscos. Verifica-se, a seguir, uma síntese dos resultados sobre o tema:

- 27,3% dos municípios brasileiros que declararam executar manejo de águas pluviais informaram apresentar erosão no perímetro urbano.

- 39,5% dos municípios declararam apresentar problema de assoreamento de seus cursos d'água decorrente do lançamento de drenagem.

- 48,8% dos municípios declararam não ter problemas com inundações, nem existir pontos de estrangulamento no sistema de drenagem; enquanto, apenas 27,4% disseram ter esse tipo e problema.

- 40,8% dos municípios declararam possuir inundações e alagamentos em seus mananciais. Destes, 60,7% também informaram haver ocupação urbana em áreas inundáveis por cursos d'água e 48,1% informaram a existência de áreas urbanas irregulares em baixios, naturalmente, inundáveis.

Como se vê, as pesquisas sobre drenagem necessitam evoluir para que não mascarem a realidade e possibilitem a formulação de políticas públicas assertivas, tanto na resposta como na aplicação de recursos. Essa é a razão de ser das pesquisas.

Box 6 – Informação para ajudar na prevenção

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) elaborou um mapa on-line[12] contendo uma base repleta de dados que pode ser utilizada por gestores nacionais, estaduais e municipais, como as defesas civis e os centros de monitoramento, além da comunidade acadêmica, empresas privadas e sociedade. Trata-se de uma plataforma interativa que reúne informações sobre áreas com riscos alto e muito alto de deslizamentos de terra, inundações, enxurradas e queda de rochas em mais de 1.600 municípios brasileiros.

1.4.4 Gestão de resíduos sólidos

O manejo dos resíduos sólidos urbanos envolve distintos processos em que os resíduos são coletados de forma indiferenciada (sem seleção) ou diferenciada (resíduos separados, como os recicláveis). A depender das condições da estrutura urbana, a coleta pode ocorrer de forma direta (porta a porta) ou indireta (quando se necessita levar os resíduos a um local para que sejam posteriormente coletados). Dependendo da forma de coleta, os resíduos são destinados a diferentes tratamentos e/ou disposição final, ou seja, podem ser reciclados, enviados a um aterro sanitário ou dispostos irregularmente em lixões, ou aterros controlados.

12 Disponível em: https://geoportal.sgb.gov.br/portal/home/webmap/viewer.html?useExisting=1.

Assim como ocorre no sistema de drenagem, a gestão dos resíduos sólidos é, na maioria das vezes, executada pelas prefeituras, com: 61,2% das prestadoras desses serviços vinculadas à administração direta; 34,5% de empresas privadas sob o regime de concessão pública ou terceirização; e 4,3% são entidades organizadas sob a forma de autarquias, empresas públicas, sociedades de economia mista ou consórcios. A coleta e o destino dos resíduos é um dos serviços que mais demanda recursos dos municípios. Segundo o relatório Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, realizado pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (Abrema), em 2022 as prefeituras dispenderam R$ 31 bilhões com varrição de ruas e áreas de feiras e coleta domiciliar, valor 4,2% superior ao investido em 2021. Esse valor representa, em média, R$ 11,96 por habitante por mês, sem contar os gastos com a disposição final.

O percentual da população atendida por coleta direta ou indireta vem aumentando a cada pesquisa. Em 2000, era de 76,4%, passando para 85,8% em 2010 e para 90,9% em 2022. Segundo o Censo, 82,5% da população tem seus resíduos coletados diretamente no domicílio e 8,4% precisa depositar em um ponto de coleta. Dos 9,1% que não têm acesso à coleta de lixo, 7,9% precisam recorrer à queima dos resíduos; 0,3% enterram em suas propriedades; 0,6% depositam em terrenos baldios, ou áreas públicas; e 0,3% dão outro destino.

Em uma avaliação regionalizada, observa-se variações significativas. Na região Norte, 79,8% da população conta com a coleta em domicílio. No Sudeste, o índice chega a 95,9%; no Centro-Oeste a 91,7%; no Nordeste a 85,9%; e na região Sul a 98,9%. O atendimento também varia pelo porte dos municípios – aqueles com até 30 mil habitantes possuem, em média, 75% da população atendida; já os que possuem mais de 4 milhões de habitantes chegam a 98,9% de atendimento.

Quanto ao volume de resíduos coletados, em 2022 foram 77,1 milhões de toneladas, o que corresponde a mais de 211 mil toneladas de resíduos gerados por dia ou cerca de 380kg por habitante ao ano. Em média, cada brasileiro em área urbana produz 1,04kg de resíduos todos os dias, número que representa uma redução de 2% em relação a 2021. Se considerada a população total do país, ou seja, somando a população rural e urbana, a média é de 0,97kg habitante/dia.

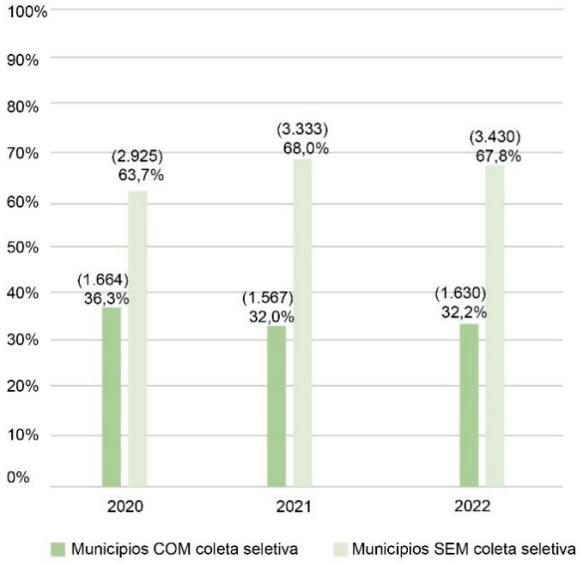
Nos últimos anos foi ampliado o número de municípios que cobram pelos serviços de coleta domiciliar, transporte e destinação final dos resíduos sólidos urbanos. Segundo o SNIS 2022, a cobrança ocorreu em 44% dos municípios, sendo o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) o instrumento mais utilizado (81,9% dos municípios). Outros 12,8% dos municípios cobram em conjunto com o boleto da conta de água; 4,9% por boleto específico; e 0,4% na modalidade tarifa. No Nordeste, a cobrança ocorre em apenas 9,7% dos municípios, enquanto no Sul ela é feita em 87,8%. Os municípios que menos cobram pelos serviços são aqueles na faixa de até 30 mil habitantes (41,7%). Em contrapartida, os que mais cobram são aqueles com população entre 250 mil e 1 milhão de habitantes (73,3%).

A coleta seletiva de material reciclável está presente em 32,2% dos municípios. Neles, o resíduo é separado na fonte geradora e recolhido por meio de uma coleta diferenciada. Não está nessa conta a coleta seletiva executada por empresas do ramo – sucateiros e catadores que não tenham vinculação com a prefeitura. Os grandes geradores também estão fora desse percentual, pois realizam de forma direta a coleta e a destinação final dos seus resíduos (grandes shoppings, supermercados etc.).

Em uma avaliação por macrorregiões, verifica-se maior presença da coleta seletiva na região Sul, onde 57,5% dos municípios declararam contar com esse

serviço. Na sequência vêm o Sudeste (40,7%) e o Centro-Oeste (24,8%). Nas regiões Norte e Nordeste o percentual de municípios com coleta seletiva não ultrapassa 12,0%.

Gráfico 7 – Municípios com coleta seletiva de resíduos domiciliares



Fonte: SNIS, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel

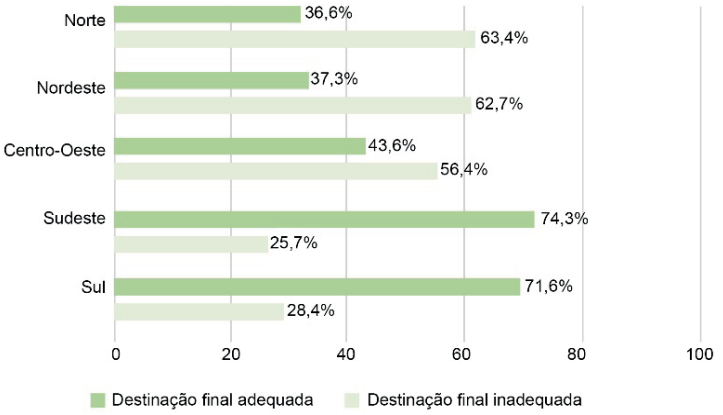
No que se refere à disposição final, em 2022 os dados indicam que os aterros sanitários eram utilizados para dispor 49,2 milhões de toneladas de lixo; os lixões 10,4 milhões de toneladas; e o aterro controlado 10,5 milhões de toneladas. Esse é o grande desafio da gestão de resíduos, especialmente desde a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em 2010, que estabeleceu a obrigatoriedade do fechamento dos lixões e aterros controlados.

A disposição inadequada, somando os valores destinados aos lixões e aos aterros controlados, totalizam 2.170 pontos de disposição final inadequadas, de acordo com o SNIS 2022, o que correspondente a 77,6% do total de pontos de disposição final existentes no país.

As regiões Nordeste e Sudeste reúnem 67,7% das unidades de disposição inadequadas (com 45,8% e 22,0%, respectivamente), seguidas do Centro-Oeste e da região Norte que, juntas, contribuem com mais de 28,7% das unidades (15,9% e 12,9%, respectivamente). A região Sul possui apenas 3,5% dos pontos irregulares.

Sobre a distribuição dos aterros sanitários, a região Sudeste tem grande significância, com 48,6% dos aterros sanitários do país (304 unidades), seguida pela região Sul, com 31,5% (197 unidades). A região Nordeste sedia 11,2% (70 unidades) e, por fim, aparecem as regiões Centro-Oeste e Norte, que comportam 6,2% (39 unidades) e 2,6% (16 unidades), respectivamente.

Gráfico 8 – Destinação final dos resíduos sólidos por região



Fonte: Censo do IBGE, 2022.

Pela lei, nenhuma cidade deveria possuir áreas de descarte irregular até 2014, prazo que foi estendido para 2024. Contudo, como sabemos, essa determinação legal ainda não foi cumprida.

1.5 Déficits de infraestrutura urbana frente à salubridade do espaço urbano

Neste ponto da leitura você já conhece os índices de atendimento dos diferentes componentes do saneamento no Brasil e sabe que o abastecimento de água é quase universal, sendo focos da discussão o esgotamento sanitário, a disposição final de resíduos e a drenagem urbana.

O conceito mais utilizado para se referir a um espaço, em relação ao saneamento, é classificá-lo quanto à sua salubridade – entendida como as condições de higiene e limpeza de um ambiente, garantindo a ausência de agentes nocivos à saúde. A palavra "salubridade" é derivada do latim *salubritas*, que significa saúde.

Assim, é devido aos baixos índices de atendimento de infraestrutura que, frequentemente, ouvimos dizer que as cidades brasileiras, ou determinado bairro, é insalubre – que passa a percepção de baixa qualidade de vida e ambiental daquele espaço. Isso vale tanto para as áreas inseridas no zoneamento formal como para áreas informais, pois em ambos os espaços há ausência de infraestrutura de saneamento no Brasil – evidentemente com maior recorrência nas áreas informais.

As deficiências no saneamento são resultado não só de decisões políticas e da falta de alocação de recursos. Elas também resultam do componente técnico na medida em que continuam sendo propostas soluções tradicionais que, na maioria das vezes, não possuem adequação às condições do território ou, são inviáveis financeiramente e tecnicamente, além dos possíveis impactos ambientais.

Este assunto será tratado adiante, quando forem discutidos os subcomponentes da infraestrutura que integram este livro.

Para traduzir o quadro do atendimento por infraestrutura de saneamento e apoiar as intervenções de urbanismo e de planejamento urbano é relevante conhecer quais são os aspectos mais afetados. A maior parte da literatura[13] refere-se aos reflexos sobre a saúde da população, com consequências sobre aprendizado, produtividade do trabalho e segurança das habitações, no caso da drenagem. Por outro lado, a qualidade das águas e do solo são os aspectos mais impactados com consequências sobre a qualidade ambiental.

1.5.1 Qualidade de vida e saneamento

Não se pretende esgotar o assunto, mas apresentar alguns exemplos sobre como os atuais índices de atendimento à população por esgotamento sanitário, drenagem e gestão de resíduos sólidos podem repercutir sobre a qualidade de vida e ambiental das cidades.

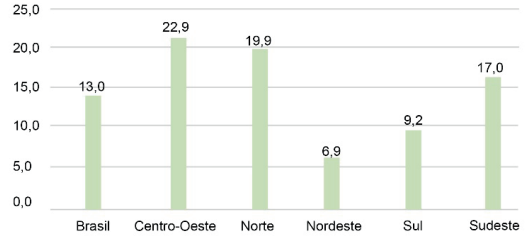
Saúde e saneamento

O principal impacto da carência de esgotamento sanitário e da ausência da disposição final adequada dos resíduos ocorre sobre a saúde da população, especialmente por meio da propagação das doenças de veiculação hídrica. São doenças adquiridas pelo contato e/ou ingestão de água não tratada ou pelo contato direto com dejetos líquidos ou sólidos. Entre as mais conhecidas, estão: leptospirose, disenteria bacteriana, esquistossomose, febre tifoide, cólera, parasitoides, além do agravamento de endemias como a dengue.

13 Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Sumario_Executivo_-_Saneamento_e_Saude_2021__2.pdf e https://tratabrasil.org.br/estudos-do-setor/.

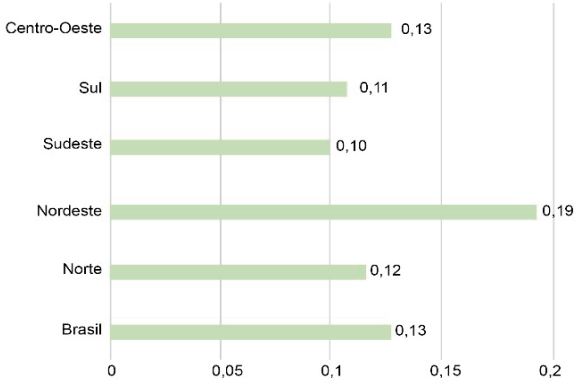
A relação entre saúde e carência de infraestrutura urbana pode ser demostrada por meio do paralelo entre o número de internações hospitalares motivadas pelas doenças mencionadas e os índices de atendimento do sistema de esgotamento sanitário e de tratamento de resíduos. Para isso, o método mais utilizado consiste na avaliação da taxa de incidência por 10 mil habitantes. Números absolutos não são utilizados para evitar distorções diante da variação populacional entre as regiões.

Gráfico 9 – Taxa de incidência de internações por doenças associadas à falta de saneamento (por 10 mil habitantes)



Fonte: DataSUS, 2021 – Painel de Saneamento no Brasil.

Gráfico 10 – Taxa de óbitos decorrentes de doenças de veiculação hídrica (por 10 mil habitantes)



Fonte: DataSUS, 2021 – Painel de Saneamento no Brasil.

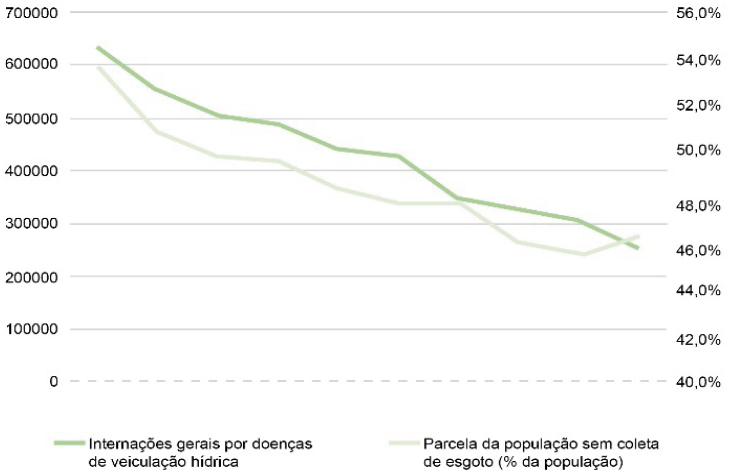
As Figuras 8 e 9 mostram que os números de internações e de óbitos são maiores exatamente nas regiões que possuem os menores atendimentos de saneamento.

A conclusão imediata é a de que os investimentos em saneamento são essenciais para a melhoria da saúde pública, contribuindo não só para a redução dos gastos com internações, mas também da taxa de mortalidade, especialmente entre as crianças.

Uma leitura pelo lado dos investimentos mostra que quando o atendimento de coleta do esgoto cresce (aqui nem se contabilizou tratamento), as internações por doenças de veiculação hídrica caem. O Gráfico 1 – População sem coleta dos esgotos e as internações gerais por doenças de veiculação hídrica (2010 a 2019) avalia o período de 2010 a 2019 e deixa perceptível como a curva de doenças por internações de veiculação hídrica reduz à medida em que a população sem coleta de esgoto cresce.

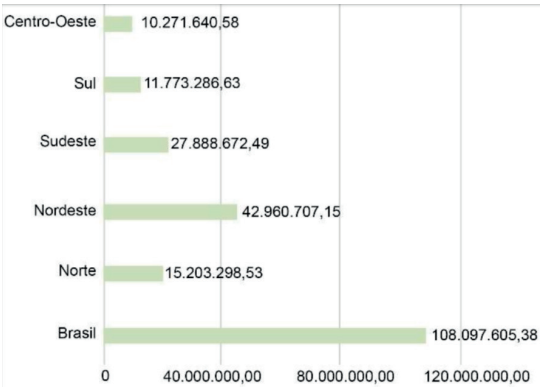
Em 2010, quando 54,6% da população não tinha coleta de esgoto, ocorreram cerca de 600 mil internações; em 2022, com 75,7% de atendimento, elas ficaram na ordem de 273 mil. Estimativas do DATASUS anteriores a 2019 já apontavam que um avanço gradativo no saneamento geraria uma redução de despesas no Sistema Único de Saúde (SUS) em torno de R$ 7 bilhões até 2035, em valores presentes.

Gráfico 11 – População sem coleta dos esgotos e as internações gerais por doenças de veiculação hídrica (2010 a 2019)



Fonte: Adaptado de Saneamento e Doenças de Veiculação Hídrica (DATASUS e SNIS, 2019). Disponível em Trata Brasil,2021

Gráfico 12 – Despesas, em reais, com internações por doenças associadas à falta de saneamento em 2019



Fonte: DataSUS, 2021 – Painel de Saneamento no Brasil.

Em relação ao recorte de gênero e de raça, os estudos do Instituto Trata Brasil de 2019 constataram que as mulheres possuem menor aceso ao saneamento básico: uma em cada quatro brasileiras vive em residências sem água tratada ou sem coleta de esgoto. Assim, as doenças de veiculação hídrica acometeram mais de 141 mil mulheres no país – quase 10 mil a mais do que as internações verificadas entre os homens. Já as pessoas autodeclaradas pardas representaram mais de 127,4 mil internações, contra 63 mil das autodeclaradas brancas. A soma das pessoas autodeclaradas pretas, amarelas, negras e indígenas totaliza quase 150 mil internações. Os dados indicam que as desigualdades de gênero e raça estão presentes em todas as regiões do país.

Economia e saneamento

As consequências ocasionadas pelos déficits de saneamento sobre a saúde parecem bem claros a todos, mas uma relação menos lembrada refere-se à produtividade no trabalho e o impacto na renda da população. Estudos como o Benefícios Econômicos da Expansão do Saneamento Brasileiro, realizado em 2014 pelo Instituto Trata Brasil e pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), apontam desdobramentos significativos também para a economia.

Segundo a pesquisa, a renda *per capita* do Brasil aumentaria em 6% e a renda dos trabalhadores cresceria 3,8% se todos os brasileiros tivessem acesso ao saneamento. Os dados referem-se ao aumento da produtividade motivado pela redução de 13,3% nas faltas ao trabalho decorrentes de doenças, que chegam a 217 mil anualmente. Os impactos sobre a renda atingem mais os trabalhadores autônomos, como comerciantes informais e diaristas, que possuem a renda familiar mensal afetada pelo afastamento do trabalho, uma vez que um dia

sem trabalhar representa um dia sem ganhar dinheiro, diferentemente, daqueles que têm carteira assinada.

Outro aspecto estudado, desta vez pelo Ministério das Cidades, em 2015, foi o impacto sobre setores econômicos diretamente afetados pela ausência de saneamento, como o de turismo. Pesquisas realizadas pelo Banco do Nordeste e divulgadas no *site* do Instituto Trata Brasil apontam que, em 2017, havia quase oito milhões de pessoas atuando no setor de turismo no Brasil. Se os serviços de saneamento básico fossem universalizados, os ganhos de renda no setor seriam de R$ 2,1 bilhões por ano. Além disso, a degradação de áreas que não recebem tratamento adequado do esgoto causou, no período analisado, a perda de R$ 5,8 bilhões de renda resultante das atividades ligadas ao turismo. Com isso, R$ 3,6 bilhões de impostos e lucros deixaram de ser recebidos em razão dos problemas ambientais que essas regiões enfrentam.

Só no Nordeste, o prejuízo na renda do turismo em 2015 foi de R$ 2,6 bilhões pela falta de saneamento. Isso representou uma redução de 27,5% no turismo brasileiro. Previsões feitas pelo levantamento indicam que a universalização do acesso até 2035 resultaria no incremento de R$ 1,2 bilhão por ano para a região.

Já o estudo do Trata Brasil/CEBDES de 2024 destaca que a salubridade urbana gera valorização imobiliária. Em regiões com coleta e tratamento de esgoto, oferta de água potável e meio ambiente preservado, a demanda por casas, apartamentos e comércio local levam a uma valorização média de até 18% no valor dos imóveis.

Educação e saneamento

Recorrendo mais uma vez às pesquisas sobre as consequências da ausência de saneamento, o estudo Os impactos do saneamento básico sobre a educação[14], realizado em 2022, ilustra a relação entre saneamento e o rendimento escolar das crianças – a partir do número de aulas perdidas em virtude de doenças advindas da falta de saneamento. Fica demostrado que a cada aumento percentual de uma unidade (0,1) no acesso ao saneamento, têm-se: (i) o aumento de 0,11 pontos percentuais na taxa de frequência escolar; (ii) a queda de 0,31 pontos percentuais na taxa de incompatibilidade entre a idade e a série; e (iii) a queda de 0,12 pontos percentuais na taxa de abandono escolar.

Já o estudo O saneamento e a vida da mulher brasileira[15], realizado pela BRK Ambiental em 2020, considerando os dados de 2016 (base para o primeiro estudo) e de 2019 (dados mais recentes do PNAD-C e do DATASUS), aponta que o acesso ao saneamento básico pode reduzir em até 10% o atraso escolar de um estudante, o que equivale a cinco ou seis meses de estudo.

Além disso, hospitalizações devido à ausência de saneamento significam mais pessoas fora dos postos de trabalhos, evasão escolar e o impulsionamento das desigualdades sociais. Esse contexto leva à necessidade de acelerar a agenda do saneamento, com mais investimentos, para que mais pessoas recebam os serviços o quanto antes, e que possamos cumprir as metas do ODS 6 até 2030.

14 Disponível em: https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Trab01570036302017009_000000.pdf

15 O levantamento teve como base dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Continuada do IBGE (PNAD-C), da Pesquisa Nacional de Saúde do IBGE e do Sistema Único de Saúde (DATASUS).

Box 7 – Retorno dos recursos aplicados em saneamento

- Os recursos públicos aplicados em saneamento básico não são despesa, mas investimento, conforme demonstram os dados a seguir:
- Cada R$ 1 aplicado em saneamento resulta em R$ 4 de economia nos gastos em saúde.
- O custo da internação de um paciente com infecção gastrointestinal é de R$ 355,71 no SUS.
- A coleta universal de esgoto resultaria na redução de 74,6 mil internações por ano no Brasil.
- 14 milhões de pessoas são afastadas do trabalho anualmente por diarreia ou vômito, ficando, em média, 3,32 dias longe das atividades.
- A universalização do saneamento tem potencial para criar 50 mil postos de trabalho, injetando R$ 7,2 bilhões em salários na economia.

Fonte: Trata Brasil. DataSUS,2022 – Painel de Saneamento no Brasil.

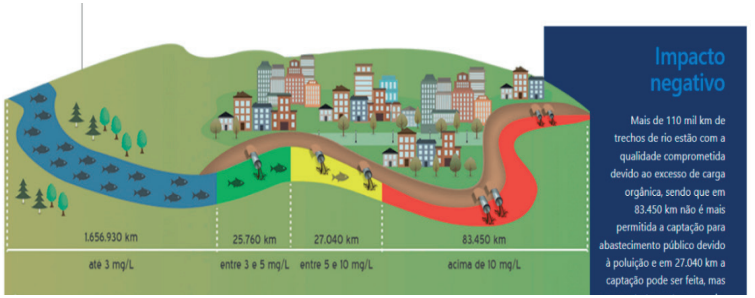
Déficits de infraestrutura urbana frente à qualidade do meio ambiente

A deficiência e a escassez de serviços de saneamento de esgotamento sanitário, drenagem e gestão de resíduos estão diretamente ligadas à contaminação de mananciais, superficiais e subterrâneos, e ao assoreamento, contaminação e/ou instabilidade do solo. Esses são os impactos que mais comprometem os ecossistemas, e aqui são apresentados alguns dados sobre esta relação, além de métodos sobre como mensurá-la.

Contaminação das águas

A Agência Nacional de Águas (ANA), em 2017, apontou que mais de 110 mil km de trechos de rios no Brasil estavam com a qualidade comprometida devido ao excesso de carga orgânica, sendo que em 83.450 km não era mais permitida a captação para abastecimento público devido à poluição. Em 27.040 km a captação podia ser feita, mas requeria tratamento avançado.

Figura 1 – Impactos na captação de água dos rios e córregos do país



Fonte: Adaptado da Agência Nacional de Águas (ANA), 2017. https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view

Assim, a qualidade das águas dos corpos hídricos inseridos na malha das cidades brasileiras, sejam as superficiais ou as subterrâneas, é ruim – incluindo as praias.

Os índices de saneamento estudados no tópico anterior levam às seguintes situações:

- Despejo sem tratamento dos esgotos sanitários nos rios contamina as águas superficiais;
- Escoamento superficial com transporte de grande quantidade de poluição orgânica e de metais que atingem os rios nos períodos chuvosos;
- Contaminação das águas subterrâneas por despejos domésticos em fossas irregulares;
- Depósitos irregulares de resíduos sólidos urbanos que contaminam as águas superficiais e subterrâneas.

Outra fonte de contaminação dos cursos d'água urbanos são as indústrias, que contribuem para a poluição hídrica, pois muitas burlam a legislação e lançam resíduos industriais nos cursos d'água sem tratamento ou com tratamento insuficiente.

Mais que a drenagem e os resíduos, o esgoto é, talvez, o que possui maior capacidade de contaminação. Esgotos domésticos e industriais podem alterar a temperatura das águas, afetando o consumo de oxigênio por organismos aquáticos e o potencial hidrogeniônico (pH) das águas.

Os esgotos despejados nos cursos d'água podem conter: (i) produtos químicos nocivos, como agrotóxicos, produtos não biodegradáveis, metais pesados, entre outros; (ii) matéria orgânica e outros compostos que consomem oxigênio em sua degradação; (iii) microrganismos causadores de doenças (patógenos); e (iv) micropoluentes, como disruptores endócrinos e microplásticos.

Box 8 – Qualidade dos rios no bioma da Mata Atlântica

Estudo realizado pelo Instituto SOS Mata Atlântica, em 2016, apontou que entre os rios do bioma somente 6,8% apresentam água de boa qualidade, não existindo nenhum com qualidade ótima. Em uma amostra de 111 rios, em mais de 20% dos pontos analisados a qualidade da água foi considerada ruim ou péssima, ou seja, sem condições para uso na agricultura, na indústria ou para abastecimento humano. Em 72,6% dos casos as amostras foram consideradas regulares.

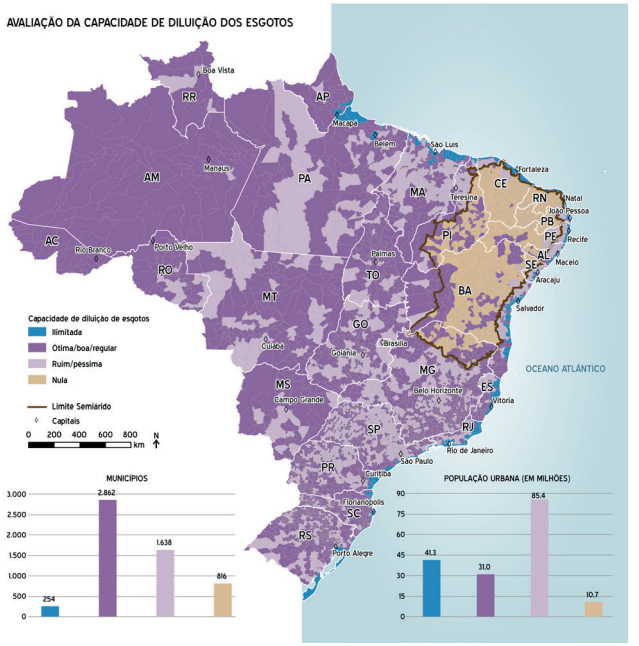
Fonte: SOS Mata Atlântica, 2016. Disponível em: https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2016/03/relatorio_rios_2016.pdf

A degradação das águas é causada pelo lançamento de esgotos que contêm carga poluente, mas salienta-se que o lançamento de esgotos pode gerar mais ou menos poluição em função da capacidade de dispersão do curso d'água, que é dado pela vazão hídrica. Na Figura 14 é apresentado o mapa da capacidade de diluição dos esgotos em relação aos 5.570 municípios brasileiros, que indica o tipo de tratamento necessário para remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Box 9 – O que é DBO?

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos presentes em determinada amostra de um curso d'água proveniente de esgoto doméstico e industrial. É o parâmetro mais utilizado para medir o nível de poluição das águas, uma vez que esses microrganismos (bactérias aeróbias, por exemplo) realizam a decomposição da matéria orgânica no meio aquático por meio de processos oxidativos, sobretudo pela respiração.

Figura 2 – Mapa de Avaliação da Capacidade de Diluição de Esgotos nos Municípios



Fonte: ANA, 2017. Adaptado da Agência Nacional de Águas (ANA), 2017. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view

No caso da drenagem, o escoamento superficial carrega, além dos resíduos existentes nas vias, parte do solo devido à velocidade da água, o que leva ao assoreamento dos cursos d'água.

Box 10 – O que é assoreamento?

Assoreamento consiste no acúmulo de sedimentos (areia, terra, rochas), resíduos sólidos e outros materiais levados até o leito dos cursos d'água pela ação da chuva, do vento, desmatamento com erosão do solo e outras ações humanas. Pode ser um processo natural, mas sua consequência negativa ocorre devido à urbanização irregular e/ou deficiência de sistemas de drenagem. Esse processo torna os rios mais rasos, dificultando o fluxo natural da água e podendo causar enchentes, além de prejudicar a vida aquática. Em termos simples, é como se o fundo do rio ficasse entupido de sujeira, atrapalhando a passagem da água e podendo levar à extinção dos cursos de água e/ou reservatórios.

Como monitorar a qualidade da água

A qualidade das águas de um curso d'água é classificada de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 e varia conforme os usos aos quais elas se destinam. Assim, é importante saber que quando se diz que um curso d'água está apto a ser utilizado, ele está próprio para determinado fim: abastecimento, irrigação, recreação e assim por diante. A resolução define as classes de qualidade da água, sendo o abastecimento (água para consumo humano) o que demanda o menor nível de contaminantes.

Ainda em relação à qualidade, água absolutamente "pura" (composta apenas de moléculas de hidrogênio e oxigênio) é somente aquela obtida em laboratório.

Box 11 – O que é qualidade da água?

É a qualidade apresentada por um corpo d'água, em um determinado momento, sendo que cada classe de qualidade representa um "conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros", de acordo com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

Se existem classes diferentes de qualidade é possível pensar em classificação dos corpos d'água, e é isso o que estabelece a Resolução CONAMA nº 357/2005, com o apoio de uma rede de monitoramento da água, ou seja: uma grande quantidade de pontos de coleta e análise da água espalhados nas mais diferentes regiões e que enviam dados à uma central em cada estado – em atendimento aos parâmetros da referida resolução.

O monitoramento consiste na "medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser contínua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo de água" (CONAMA, 2005).

Para realizar o monitoramento existem diversos métodos, sendo um dos mais utilizados o que relaciona três dimensões de qualidade: a físico-química; a bacteriológica; e a ecotoxicológica. A partir dessa avaliação, obtém-se o Índice de Qualidade das Águas (IQA), criado nos Estados Unidos pela National Sanitation Foundation.

A partir dos anos de 1970, o IQA passou a ser utilizado no Brasil. Esse índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são, em sua maioria, os indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos.

1.7 Percepção da população sobre a importância do saneamento

No processo de planejamento urbano, tão importante quanto diagnosticar as condições técnicas dos espaços urbanos, o nível de atendimento da infraestrutura, dos equipamentos públicos e da disponibilidade de habitação é conhecer o grau de satisfação da população sobre os serviços que utiliza. Saiba que, às vezes, essa percepção é ligeiramente diferente do índice encontrado em uma pesquisa, ou mesmo de uma vistoria que o técnico realiza em campo.

Assim, depois de discorrer sobre vários estudos técnicos relacionados às condições do saneamento ambiental e os impactos de seus déficits sobre a qualidade de vida e ambiental das cidades é importante apresentar uma pesquisa sobre a percepção da população em relação à essa condição das cidades brasileiras.

Pesquisas dessa natureza não são corriqueiras, e as que se seguem foram elaboradas há mais de 10 anos pelo Instituto Trata Brasil e pelo Ibope, em 2010 e 2012. Ao todo, foram ouvidas 1.000 pessoas. Seguem alguns achados:

- Sobre o que se entende por saneamento básico, o percentual de "não sabe", em 2010, foi de 31%; em 2012, apenas 13% disseram não saber do que se tratava.

- Em 2010, 65% disseram que o saneamento estava relacionado aos serviços de água, esgotos, resíduos sólidos e drenagem; em 2012, este número subiu para 81%.

Os dados a seguir referem-se, especificamente, à pesquisa de 2012:

- 6% dos entrevistados responderam que saneamento básico é saúde.

- Quando perguntados sobre os problemas da sua cidade, a falta de esgotamento apareceu na 6ª posição de importância, ficando atrás de saúde, segurança, falta de controle sobre as drogas, educação e transporte (para a maioria, não existe relação entre saúde e esgotamento).

- Quanto à disposição das pessoas em pagar por serviços de saneamento, 50% dos entrevistados afirmaram que não pagariam para ter seus esgotos ligados à rede.

Ao serem perguntados sobre o valor pago por água e esgoto, 58% afirmaram ser caro em relação à qualidade do serviço prestado.

Ao analisar a percepção do cidadão quanto ao destino dos esgotos, 49% afirmaram que vão para algum curso água (31% rios; 8% mar; 7% córregos; e 3% ruas). Somente 19% dos entrevistados afirmaram que os esgotos vão para um centro de tratamento.

Na média nacional, 29% afirmaram não saber o destino dos esgotos, e o desconhecimento é maior nas periferias (37%) e nas cidades do interior (46%).

Contraditoriamente, quando perguntados sobre os benefícios do saneamento para saúde e meio ambiente: 73% afirmaram que investimentos de saneamento melhora a saúde; e 37% disseram ser importante para o meio ambiente.

Sobre as consequências negativas da falta de saneamento, as respostas foram: prevalecem as doenças (70%), cheiro ruim (44%), presença de ratos e insetos (41% e 32%); e contaminação do solo (20%). 53% dos entrevistados apontaram a leptospirose; 43% a dengue; 39% as diarreias. Além disso, 30% afirmaram que ele, ou alguém da família, já teve que se afastar do trabalho por

conta das doenças oriundas da falta de saneamento.

Outro aspecto importante é o fato de muitos entrevistados, a metade, aproximadamente, não terem ideia de para onde vai o esgoto da sua cidade. 49% responderam que os serviços de saneamento básico são totalmente adequados em sua cidade; 46% disseram não serem adequados; e apenas 8% disseram ser parcialmente inadequado.

Em uma avalição do desempenho de cada serviço, a coleta de lixo aparece com a maior nota (7,7), seguida do tratamento de água (7,2), coleta de esgoto (5,8) e, finalmente, o tratamento do esgoto (5,4).

Quando perguntados se as reclamações feitas à prefeitura ou empresa de água e esgotos resultaram em melhorias, 59% disseram que nenhuma medida foi tomada.

A maior parte dos entrevistados (68%) atribui à prefeitura a responsabilidade pelos serviços; 19% dizem ser o estado; 3% o governo federal; e 4% as empresas privadas.

No que se refere à mobilização para cobrar por melhores serviços, a grande maioria (75%) admite que não exerce o papel de cobrança. Dos que dizem cobrar, a maior parte solicita a limpeza de bocas de lobo (7%) e o desentupimento de rede de esgoto existente (5%).

Por fim, sobre a própria participação na melhoria do saneamento, 25% afirmaram não saber o que lhes cabem; 18% disseram que era informar à prefeitura dos problemas existentes; 15% fiscalizar os serviços; e 10% mobilizar os moradores. Além disso, os entrevistados se mostraram muito críticos em relação ao que pagam pelos serviços e a qualidade destes. Este fato, aliado à grande quantidade de taxas e impostos pagos pelo brasileiro, além da generalizada falta de informação sobre o assunto, faz com que mesmo os não atendidos pelos serviços não gostem da ideia de ter que pagar.

Referências – Capítulo 1

DATASUS; TRATA BRASIL. *Painel saneamento Brasil – sumário executivo.* São Paulo, 2021. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Sumario_Executivo_-_Saneamento_e_Saude_2021__2.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo brasileiro de 2010.* Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico 2022: população e domicílios.* Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

MORATO, Rubia Gomes. *A natureza multidimensional da qualidade de vida.* 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MUELLER, C. C.; TORRES, M.; MORAIS, M. P. *Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos*. Brasília: IPEA, 1997.

ONDAS – Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento. *Contas econômicas e ambientais da água*. IBGE/ANA, 2020.

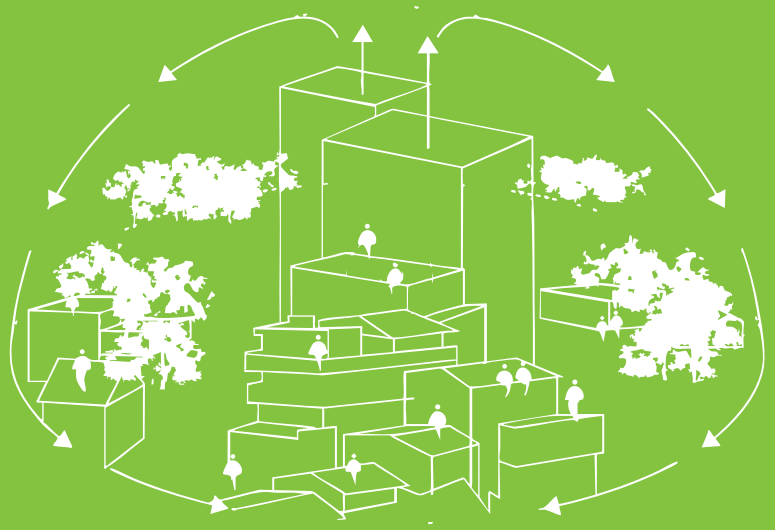
SOLIGO, Valdecir. Indicadores: conceito e complexidade do mensurar em estudos de fenômenos sociais. *Estudos em Avaliação Educacional*, São Paulo, v. 23, n. 52, 2012.

TRATA BRASIL. *Estudo de perdas de água do Instituto Trata Brasil de 2022 (SNIS 2020): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico no Brasil.* São Paulo, 2022. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_Completo.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

VILLAÇA, Flávio. Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. *In*: DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos (org.). *O processo de urbanização no Brasil*. São Paulo: EdUSP, 1999.

2

Condicionantes ambientais da urbanização e suas relações com a infraestrutura urbana



A natureza exerce influências sobre o processo de urbanização podendo favorecer a ocupação urbana com condições de segurança e salubridade, ou criando impedimentos à ocupação que, se rompidos, podem gerar impactos socioambientais, ou seja: repercutir sobre a vida das pessoas e dos ecossistemas. Trata-se de uma relação que é mútua, mas não equânime, pois a urbanização resulta sempre em interferências nos ecossistemas naturais, sendo o papel do profissional que planeja o território o de promover a menor interferência possível, o que só ocorre com o devido conhecimento das características do meio físico e biótico do sítio e sua dinâmica com a ocupação do solo.

Por que se faz necessário essa adequação? Será que não é possível resolver os obstáculos dados pela natureza com soluções tecnológicas como contenção de encostas íngremes, aterramento de áreas inundadas etc.?

Esse já foi o pensamento predominante e entendido como correto no âmbito do urbanismo e do planejamento urbano, mas muitos efeitos negativos ocorreram durante os anos, e ainda hoje ocorrem quando são desconsideradas

as condições impostas pelo meio fisio e biótico.

Caso você, leitor, não esteja convencido da necessidade de manter a integridade dos ecossistemas, sugiro conhecer o conceito de serviços ecossistêmicos.

Serviços ecossistêmicos (SE) são os benefícios que as pessoas recebem da natureza ou como os ecossistemas íntegros contribuem de forma direta e indireta para o bem-estar dos indivíduos. Essa abordagem procura reconhecer a ampla gama de benefícios proporcionados pelos ecossistemas e a biodiversidade, demonstrando seus valores em termos econômicos e sociais e oferecendo argumentos práticos para a adoção de valores ecológicos na tomada de decisão sobre a ocupação do território[1].

Os serviços ecossistêmicos são classificados de acordo com os benefícios que proporcionam em quatro categorias: (1) serviços de provimento; (2) serviços de regulação; (3) serviços culturais; e (4) serviços de suporte (MEA, 2003), assim detalhadas:

- Os serviços de provisão incluem materiais que são providos pelos ecossistemas para nosso consumo, como comida, água, plantas medicinais e outros recursos.

- Os serviços de regulação são os que mantêm funções ambientais que proporcionam a vida saudável, como: qualidade do ar, qualidade do solo, controle de enchentes, disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas e o controle de doenças.

- Os serviços culturais incluem os benefícios socioecológicos não materiais associados com o contato com a natureza, como recreação, estética, saúde mental e turismo.

1 *Millennium Ecosystem Assessment* (Disponível em: https://www.unep.org/resources/report/ecosystem-and-human-well-being-framework-assessment) e *TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management* (Disponível em: https://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Additional%20Reports/Manual%20for%20Cities/TEEB%20Manual%20for%20Cities_English.pdf).

- Os serviços de suporte são aqueles que sustentam, ou seja, sem os quais os demais serviços não existiram, como os processos de fluxo de energia e de carbono na natureza.

Fazendo uma leitura de como esses serviços podem ser visíveis no espaço urbano, destacam-se pelo menos oito situações[2]:

- Regulação da qualidade do ar;
- Regulação do microclima;
- Regulação de ruídos;
- Regulação do fluxo das águas;
- Mitigação do escoamento superficial;
- Tratamento de águas residuais;
- Valores culturais e recreativos;
- Controle de erosão.

É importante ressaltar que existe uma diferenciação entre serviços ambientais e serviços ecossistêmicos. Enquanto os ecossistêmicos são relacionados à própria integridade do ecossistema, os serviços ambientais são aqueles prestados por agentes econômicos ou políticos para conservação e/ou recuperação de ecossistemas, suas funções e seus serviços ecossistêmicos (TÔSTO; PEREIRA; MANGABEIRA, 2012), ou seja, os serviços ambientais estão associados aos benefícios gerados por ações de manejo, proteção e uso sustentável dos ecossistemas e podem estar associados a um pagamento.

2 Sobre o assunto, você pode se informar melhor em BOLUND; HUNHAMMAR, 1999 e GÓMEZ-BAGGETHUN; BARTON, 2013.

Por sua vez, o pagamento por serviços ambientais é um instrumento econômico de gestão ambiental que visa a minimização de uma falha de gestão do território. Trata-se de recurso a ser pago ao Estado por um possível impacto sobre um bem comum, que é o meio ambiente – em qualquer dos usos sobre os recursos naturais. No Brasil, a Lei n.º 14.119/2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), é o amparo legal para essa cobrança por parte de órgãos ambientais.

O papel do urbanista

Como proteger os serviços ecossistêmicos na atuação como urbanistas ou planejadores urbanos?

Para compreender como uma ação de urbanismo ou planejamento urbano pode interferir na promoção dos serviços ecossistêmicos basta olhar para o fato mais corriqueiro da implantação de cidades: a impermeabilização do solo. O excesso de pavimentações, como o asfalto e lotes que possuem taxas de ocupação de 100%, ou seja, ocupam toda a área, resultam em uma mancha urbana totalmente impermeável. A não infiltração das águas leva ao impedimento da recarrega dos lençóis freáticos, reduzindo o serviço de provimento do ecossistema, pois não haverá água superficial e nem subterrânea na bacia onde essa forma de ocupação urbana ocorre.

Esse é um exemplo de uma decisão urbanística que compromete serviços ecossistêmicos, pondo em risco a própria cidade. O serviço ecossistêmico de provimento de água deixa de ser ofertado pela natureza, obrigando a captação de água em outras localidades, com custos elevados e competição com outras atividades econômicas como a irrigação da área rural.

Para definir um tipo de pavimento ou taxa de ocupação é necessário saber como a impermeabilização ocorre.

O primeiro passo é conhecer os fatores ambientais dos meios físico e biótico que condicionam a urbanização e como os padrões urbanísticos e as tecnologias de infraestrutura podem gerar impactos negativos nos ecossistemas.

2.1 Condicionantes ambientais da urbanização

A cidade envolve, obrigatoriamente, mudanças no meio físico com a ocorrência de desmatamento, movimento de terra, aterramentos, impermeabilização do solo, entre outras. A busca por intervenções urbanas que minimizem tais alterações não pode, de forma alguma, ocorrer sem o entendimento das condicionantes do meio físico, sob pena de agravar as condições de qualidade de vida da população, além de promover alterações na lógica de funcionamento dos ecossistemas.

Este é um assunto que pode ser discutido de forma ampla, pois envolve conhecimentos de geologia, hidrologia, pedologia, climatologia e assim por diante, mas esgotá-lo não é o objetivo deste capítulo. Aqui, a questão será tratada no contexto de definir que tipo de infraestrutura urbana deve ser implantada na cidade[3].

2.1.1 Meio físico

As condições naturais do território associadas ao meio físico são a climatologia, a geologia, a geomorfologia, a pedologia e a hidrologia. Já as relacionadas ao meio biótico são a vegetação e a fauna. Essa divisão será adotada quando for realizada uma rápida descrição das características desses fatores para enfatizar suas suscetibilidades e as alterações decorrentes que podem ocorrer a depender do tipo de ocupação do solo.

3 Saiba mais sobre as condicionantes da urbanização em MOTA, Suetônio – *Urbanização e Meio Ambiente*, ABES, Rio de Janeiro, 2003.

I – Climatologia

Os estudos climatológicos são parte do urbanismo desde seu início, quando um grande objetivo das primeiras cidades industriais era garantir insolação, ventilação e iluminação das edificações. Esse conceito evolui de uma visão do conforto ambiental (o conforto para as pessoas) para uma visão mais ampla onde o clima adquire relevância quando associado ao fenômeno contemporâneo das mudanças climáticas e seus impactos nas áreas urbanas. Assim tem sido tratado nas disciplinas das faculdades de arquitetura e urbanismo onde, aos poucos, deixa de enfatizar a edificação para abranger todo o espaço das cidades.

Apesar de as mudanças climáticas serem um fenômeno global, é nas cidades de urbanização desigual que seus efeitos são mais sentidos. Entre os exemplos estão as grandes ondas de calor e os picos de chuvas, com impacto sobre a drenagem deficiente ou inexistente, resultando em desastres de diferentes ordens.

O clima é um conjunto de condições atmosféricas que caracterizam uma região, e seus elementos são divididos em: temperatura, umidade, precipitação, pressão atmosférica, ventos e radiação solar. Ele é influenciado pelos seguintes fatores: latitude, altitude, relevo, proximidade do mar e, em grande escala, as correntes marítimas. Com o passar do tempo, os dados permitem reconhecer a influência do clima sobre o solo, a fauna e a flora, auxiliando na compreensão de como as condicionantes ambientais do território estão relacionadas.

No que toca ao clima, um aspecto relevante para o estudo das relações entre urbanização e natureza é o microclima. Ele consiste na análise dos elementos do clima em uma escala menor, em uma fração urbana que, por sua vez, interfere na escala da cidade. As escalas de um microclima podem incluir as condições geradas por um jardim, um riacho, um bosque, pelo asfalto, entre outros elementos.

Para Monteiro (1976), “A cidade gera um clima próprio, resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada de limite urbano e que agem no sentido de alterar o clima em escala local. Seus efeitos mais diretos são percebidos pela população através de manifestações ligadas ao conforto térmico, à qualidade do ar, aos impactos pluviais e a outras manifestações capazes de desorganizar a vida da cidade e deteriorar a qualidade de vida de seus habitantes”.

O que se deve entender é que as diferentes formas que adquirem a cidade, ou seja, seus padrões morfológicos, geram alterações climáticas próprias nas diferentes partes da cidade. Entre as alterações do clima, a elevação da temperatura talvez seja a mais facilmente percebida pela população, mas ela é apenas um indício das demais alterações que ocorrem no clima com a urbanização.

Para entender melhor, é necessário estudar o fenômeno denominado “ilha de calor”. Ele corresponde a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada do que em áreas circunvizinhas. Esse resultado advém de vários processos, como: redução da evaporação em função do aumento da rugosidade que resulta das propriedades térmicas dos edifícios, dos materiais das pavimentações e da maior verticalização da cidade, condições que armazenam calor durante o dia e liberam calor no período noturno. Tudo isso muda as condições climáticas específicas das áreas de densa urbanização, alterando a temperatura do ar, a velocidade do vento, a umidade e a qualidade do ar.

Figura 3 – Exemplificação de uma "ilha de calor"

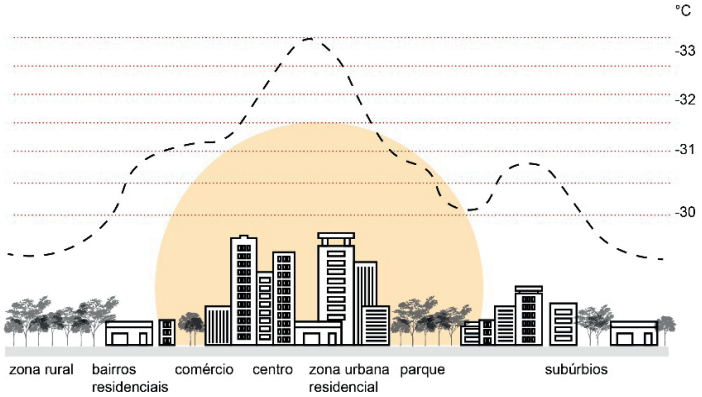


Ilustração: Leticia Evelyn.

Assim, o aumento da temperatura nas cidades vem junto com a diminuição da umidade relativa do ar, o que provoca o desconforto térmico – que Lombardo em 1985 já denominava de "clima de deserto artificial". Sua representação acontece na forma de um domo onde, nos centros das áreas urbanas adensados e pobres em vegetação, as temperaturas registram valores máximos que vão reduzindo à medida em que se avança para áreas periféricas que disponham de cursos d'água e mais vegetação.

Figura 4 – Domo de poluição urbana

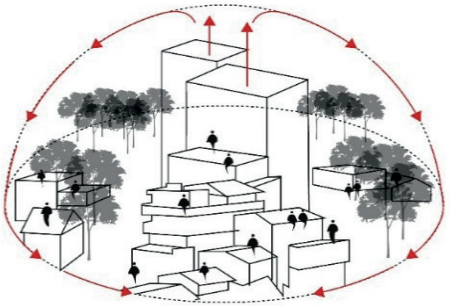


Ilustração: Leticia Evelyn, adaptado de Cavalheiro, in Tauk, 1995, p. 117.

Nesse fenômeno ocorre, ainda, a modificação da velocidade dos ventos devido à barreira gerada pelas edificações. Como resultado, observa-se maior precipitação pluvial nas cidades do que nas áreas periféricas e rurais, sendo que, contraditoriamente, as áreas centrais possuem umidade relativa do ar menor. Isso ocorre devido à concentração das atividades urbanas que produzem maior número de núcleos de condensação. Todas essas interações estão sintetizadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Fatores climáticos relacionados à urbanização

Fator climático	Relação com a urbanização
Radiação solar	Dependendo das características da região, a distribuição da cidade e os tipos de construção, a radiação solar incide de modo diferente nas edificações. Por exemplo, em regiões com clima de radiação intensa, na cidade ela será reduzida. Também a radiação solar é menor nas áreas urbanas, uma vez que a massa edificada altera a duração e a exposição dos espaços aos raios.
Temperatura	Nas cidades, a elevação da temperatura resulta em ilha de calor, com temperaturas mais altas que na área circunvizinha – criando uma circulação de ar e poeira da periferia para o centro da cidade. Isso é resultado da redução da evaporação e turbulência do fluxo de ar gerada pelas diferentes alturas dos edifícios. No centro da cidade, mais adensado, as temperaturas são mais elevadas; nas áreas mais arborizadas e lagos (ou reservatórios) a temperatura é menor. A temperatura do ar é geralmente maior nas cidades do que na área rural, apresentando, em média, registros de 0,5ºC a 3ºC maiores.
Umidade	A elevação da temperatura gera a redução da umidade relativa do ar. Em dias extremamente quentes, o desconforto térmico associado à baixa umidade do ar resulta em um "clima desértico artificial".
Velocidade do vento	A velocidade do vento é modificada nas cidades devido às diferentes alturas dos edifícios – criando barreiras à circulação.

Camadas atmosféricas	Juntamente com a direção e a velocidade do vento, as camadas e suas possíveis inversões estão relacionadas com a dispersão dos poluentes atmosféricos resultantes das atividades urbanas.
Precipitação	Há maior precipitação pluvial nas cidades do que nos campos, pois as atividades humanas nas cidades produzem maiores núcleos de condensação, mas a umidade relativa do ar é maior no campo.

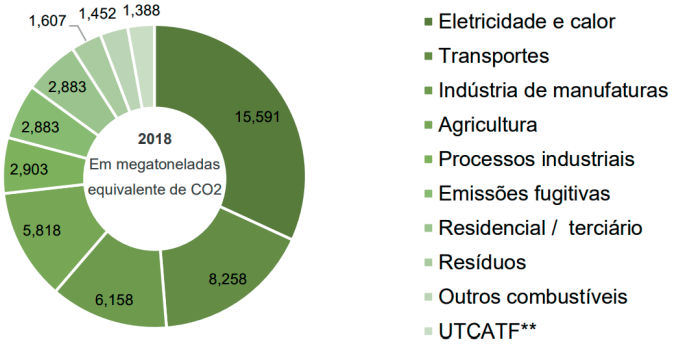
Fonte: MOTA, 2003; LANDSBERG, 1981; e LOMBARDO, 1985

Contextualizado sobre como a forma urbana, seus materiais, edifícios, espaços públicos, densidades e a presença de vegetação podem alterar o microclima, importa acrescentar algo sobre as mudanças climáticas globais: a contribuição das cidades para a ocorrência desse fenômeno.

As consequências das mudanças climáticas sobre as cidades são, comumente, relatadas sobre o relevante aumento do volume de chuvas, que potencializa os desastres ligados às inundações, aos alagamentos e aos deslizamentos. Mas qual é a tipologia de cidade que geram essas ocorrências?

O que, geralmente, se denomina como mudança do clima em nível global é o aquecimento do planeta, consequência do crescimento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, implicando aumento da temperatura média da Terra. Nas áreas urbanas do Brasil, o setor de transportes é um dos grandes emissores de CO_2, uma vez que os veículos com motores a combustão são a maioria (mais de 52%) da frota. Em âmbito global, transportes é o segundo setor que mais polui, sendo responsável por 14% do total das emissões equivalentes ao CO_2.

Figura 5 – Origem dos gases do efeito estufa no planeta



*Emissões mal controladas: acidentais, difusas ou improdutivas
**Uso de terras, mudanças que afetam terras e florestas
Fonte : ilustração Leticia Ervely a partir de Mudança do clima e terra ,MMA 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/srcl-port-web.pdf

II – Geomorfologia, geologia e solos

As características geomorfológicas (formas e dinâmicas do relevo), geológicas (tipos litológicos, modos de ocorrência, estruturas, processos geodinâmicos externos e internos) e geotécnicas (características dos terrenos, propriedades dos solos e rochas) são os principais fatores que, para um determinado tipo climático, condicionam as formas de ocupação do solo.

Conhecer essas características permite avaliar os tipos de terreno, suas fragilidades e potencialidades naturais para decidir sobre sua ocupação urbana.

Sobre geomorfologia:

A geomorfologia envolve as características da forma e dinâmica do relevo, como: depressões, planícies, chapadas e serras. O conhecimento dessas características adquire maior relevância quando associado a outros elementos do

sistema ambiental, como os tipos de solos ou a presença ou ausência de vegetação. As suas interrelações é que tornam possível a construção de mapas de análise de susceptibilidade, onde se pode predizer as áreas sujeitas a inundações e ocorrência e intensidade dos processos erosivos, por exemplo.

A topografia relacionada com as características climáticas (como ocorrência de inversões de temperatura) pode contribuir para o agravamento da poluição do ar, que é comum em vales. Apesar de ser considerado o conjunto de fatores ambientais para indicar a condição favorável ou não à urbanização, em algumas situações só com a geomorfologia já é possível apontar sua inadequação.

Esse é o caso de terrenos que possuem grande declividade (acima de 30%, de acordo com a legislação brasileira) e são considerados impróprios devido à sua instabilidade. Em declividades inferiores a 30%, como áreas situadas em vales dissecados e rebordos (declividades entre 20 e 30%), já se recomenda a ocupação de baixa densidade, com implantação de infraestrutura e técnicas adequadas à conservação dos solos. Quando essa condição não é observada, de duas uma: ou (i) a ocupação para ser segura envolve alto custo financeiro, grande movimentação de terra e ações que causam impactos adversos à paisagem ou (ii) há ocorrência de danos materiais e humanos (MOTA, 1999).

Por outro lado, a declividade do terreno possui implicações sobre a drenagem, uma vez que o escoamento das águas em altas declividades terá maior velocidade, promovendo maior carreamento de sedimentos e solo e, muitas vezes, resíduos sólidos nas ruas (vias). Esses fatores associados contribuem para a ocorrência de erosão e o assoreamento dos cursos d'água.

A topografia é, ainda, um fator importante quando relacionada aos aspectos hidrológicos, pois as áreas mais baixas (onde se encontram os cursos d'água) estão mais sujeitas a inundações que terrenos mais elevados.

Sobre geologia:

Os dados geológicos são mais estáveis, pois as mudanças geológicas ocorrem em uma grande escala temporal, sendo mais fácil obter informação confiável. Além disso, são dados secundários que não exigem ter data recente.

Por outro lado, a transformação de informações geológicas em dados ou indicadores não é tão simples assim. É necessário que um geólogo consiga estabelecer a leitura das informações de modo a entender a dinâmica físico-química do substrato geológico em relação a outros elementos do meio, além de conhecer as potencialidades e limitações do solo, tanto em nível superficial como no subsolo, para definir qual ocupação é apropriada.

O conhecimento das características geotécnicas leva à identificação de áreas de risco (sujeitas a deslizamentos), terrenos suscetíveis à erosão e locais com lençol freático elevado, por exemplo.

As formações geológicas estão relacionadas com as águas subterrâneas, uma vez que alguns tipos de rocha favorecem o surgimento de aquíferos – característica relevante em áreas urbanas em função da necessidade de abastecimento de água ou para se saber onde evitar uma implantação em virtude de um lençol freático alto (por exemplo, para definir a localização do aterro sanitário ou implantar uma fossa séptica).

Solos

O solo é o suporte dos ecossistemas e das atividades humanas sobre a Terra. Seu estudo é imprescindível para o planejamento urbano e fundamental para diversas atividades das cidades. É a camada superficial intemperizada da crosta terrestre, contendo matéria orgânica e organismos vivos, onde se desenvolvem os

vegetais que dele obtêm água e nutrientes através das raízes.

Quando se analisa o solo, pode-se deduzir sua potencialidade e fragilidade como elemento natural, como recurso produtivo, como substrato de atividades construtivas ou como agente de possíveis impactos decorrentes dessas atividades.

A formação, o tipo e a classificação de um solo (estudado pela pedologia) varia consideravelmente de acordo com a sua rocha de origem (geologia) e ainda de região para região, a depender da disponibilidade hídrica e do regime de temperaturas. Dessa forma, os solos são produtos da interação rocha/relevo/clima sendo, portanto, síntese das principais características desses elementos.

Outra disciplina associada os solos é a geotecnia, que estuda o comportamento do solo e das rochas e sua relação com as ações antrópicas. Para a engenharia civil o solo é um material sobre o qual são edificados os mais diversos tipos de obras, devendo este apresentar propriedades que permitam sua sustentação. Para isso, diversos parâmetros geotécnicos devem ser observados, como permeabilidade, profundidade, resistência ao cisalhamento, colapsividade e resistência à carga compactada e saturada. Suas principais aplicações se relacionam aos estudos de cargas fundamentais no sistema viário e rodovias, à estabilidade dos taludes e em outras situações, como: (i) prevenção de desmoronamentos; (ii) prevenção de deslizamentos; (iii) preservação dos lençóis freáticos; (iv) gerenciamento da formação dos taludes nos aterros sanitários; (v) contenção da ocupação de encostas.

A resistência a cargas é determinada principalmente pelas caraterísticas de coesão e compacidade do solo. A compacidade é um índice aplicado aos solos mais comuns que indica se as partículas sólidas estão organizadas mais próximas umas das outras, com consequente redução da porosidade, ou seja no volume de vazios (ALMEIDA, 2004). Essas características determinam a viabilidade e o custo das fundações das construções, embora com a tecnologia atual, muitas vezes, não sejam um limitador. Em linhas gerais, as areias compactas e as argilas rijas4 ou duras profundas, que se estendem de forma homogênea, representam solos melhores para fundações, com maior capacidade de suporte de carga e menos suscetíveis a deformações. Em contrapartida, argilas moles e areias fofas rasas representam solos menos resistentes para as fundações, com menor capacidade de suporte de carga e mais suscetíveis a deformações (ALMEIDA, 2004).

Entretanto, as boas características para fundações, especialmente as relacionadas à compactação, acabam acarretando limitações para o desenvolvimento da arborização urbana, a infiltração de água e a capacidade de receber efluentes líquidos domésticos. Solos encharcados, de regiões pantanosas ou próximas a drenagens naturais, com lençóis freáticos muito altos, são inadequados à urbanização devido ao risco de inundações e à dificuldade de receber efluentes domésticos.

Com o conhecimento sobre o solo é possível inferir sobre o sistema de drenagem natural e a suscetibilidade aos processos do meio físico – erosão, escorregamento, assoreamento, contaminação, colapsos e subsidências, recalques, entre outros (KERTZMAN; DINIZ, 1995). As atividades que, geralmente, são responsáveis pela erosão do solo são: desmatamentos, movimentos de terra e impermeabilização. Outra característica dos solos relacionada com o processo de urbanização é a sua permeabilidade e a impermeabilidade, que é capacidade de infiltração, aspecto muito relevante para decidir sobre a absorção de líquidos provenientes de esgotamento sanitário como fossas séptica, por exemplo.

4 De acordo com a NBR 7250, areias compactas ou muito compactas são aquelas que possuem um índice de resistência à penetração acima de 19 e as argilas rijas ou duras são aquelas que possuem esse índice acima de 11.

O quadro a seguir mostra as características do terreno no que se refere às melhores condições para uma ocupação urbana de modo a reduzir possíveis impactos ambientais negativos.

Quadro 2 – Características geomorfológicas, geológicas e dos solos e suas relações com a urbanização

Características geomorfológicas, geológicas e dos solos e suas relações com a urbanização	
Geomorfologia	O relevo sintetiza a história das interações dinâmicas que ocorreram entre o substrato lítico, a tectônica e as variações climáticas. O estudo da conformação atual do terreno permite deduzir a tipologia e a intensidade dos processos erosivos e deposicionais, a distribuição, a textura e a composição dos solos, bem como a capacidade potencial de uso. As formas de relevo de uma determinada área têm grande influência no seu processo de ocupação e são, geralmente, bastante alteradas por ele. Nas áreas de rampas íngremes, caracterizadas por declividades acima de 30%, onde geralmente estão solos mais rasos, recomenda-se manter intacta a cobertura de vegetação natural. O uso mais adequado nestas localidades é voltado à conservação e à preservação ambiental. O relevo também possui relação com as características climáticas, sendo que a ocorrência de inversões de temperatura, que podem contribuir para o agravamento da poluição do ar, é mais comum em áreas de vales.
Geologia	As características geológicas podem ser favoráveis ou apresentar limitações à ocupação urbana. O conhecimento das características geotécnicas de uma área urbana é necessário para orientar o uso do solo. Assim, podem ser identificadas áreas de riscos (sujeitas a deslizamentos), terrenos suscetíveis à erosão e locais com lençol freático elevado. As formações geológicas relacionam-se com as águas subterrâneas. O seu conhecimento é de grande importância em função da necessidade de abastecimento de água. Como as mudanças geológicas ocorrem em uma grande escala temporal, seus dados são mais estáveis, ou seja, seus processos são mais contínuos no tempo e no espaço, sendo uma informação confiável como unidade espacial. Por outro lado, a transformação do dado geológico em informação ou indicador não é tão simples. É necessário um ótimo geólogo que consiga traduzir ou transcodificar o dado acadêmico para uma linguagem que permita entender o substrato geológico quanto à sua dinâmica físico-química, relações com outros elementos do meio, potencialidades e limitações no espaço superficial e no subsolo.
Solos	Os solos são produtos da interação rocha/relevo/clima e, portanto, sintetizam as principais características desses elementos. Conhecendo o tipo de solo pode-se inferir sobre o material de origem (rocha-mãe), a forma do relevo, a declividade, o sistema de drenagem natural, o comportamento hídrico e a suscetibilidade aos processos do meio físico (erosão, escorregamento, assoreamento, contaminação, colapso e recalques etc.). Uma vez que o solo é o suporte dos ecossistemas e das atividades humanas sobre a Terra, seu estudo é imprescindível para o planejamento e fundamental para diversas atividades do meio urbano. Quando se analisa o solo, pode-se deduzir sua potencialidade ou fragilidade como elemento natural, como recurso produtivo, como substrato de atividades construtivas ou como concentrador de impactos. A coesão do solo é a resistência pela qual o solo se torna capaz de manter sua forma, mesmo quando cortado ou moldado, e possui muita influência na propensão à erosão, a depender da presença de cobertura vegetal e da intensidade de chuvas As áreas baixas geralmente estão associadas à alta densidade de drenagens naturais e estão mais sujeitas a inundações.

Fonte: Desenvolvido de MOTA, 1983 .

Definições sobre soluções de sistema viário, pavimentação, drenagem e esgotamento sanitário dependem desses estudos para que as decisões sobre infraestrutura urbana se deem corretamente e com menores custos de implantação e impactos ambientais.

III – Hidrologia

O estudo do ciclo da água fornece uma base conceitual unificadora para o estudo do equilíbrio dinâmico hídrico uma vez que envolve questões climáticas, hidrológicas e de uso do solo. É possível encontrar diversas definições de ciclo hidrológico, como "um modelo conceitual que descreve o armazenamento e circulação de água entre a biosfera, atmosfera, litosfera e hidrosfera" (MARSALEK et al., 2013) ou "o fenômeno global de circulação fechada da água, entre superfície terrestre e atmosfera, impulsionado, fundamentalmente, pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre" (CARVALHO; BATISTA DA SILVA, 2006).

Durante seu ciclo, a água pode ser armazenada em vários compartimentos, como atmosfera, oceanos, lagos, rios, solos, geleiras, campos de neve e aquíferos, sendo impulsionados, em sua dinâmica, pela energia solar associada à gravidade por meio dos seguintes processos: evapotranspiração, condensação, precipitação, infiltração, percolação, derretimento de neve e escoamento.

Figura 6 – Ciclo hidrológico

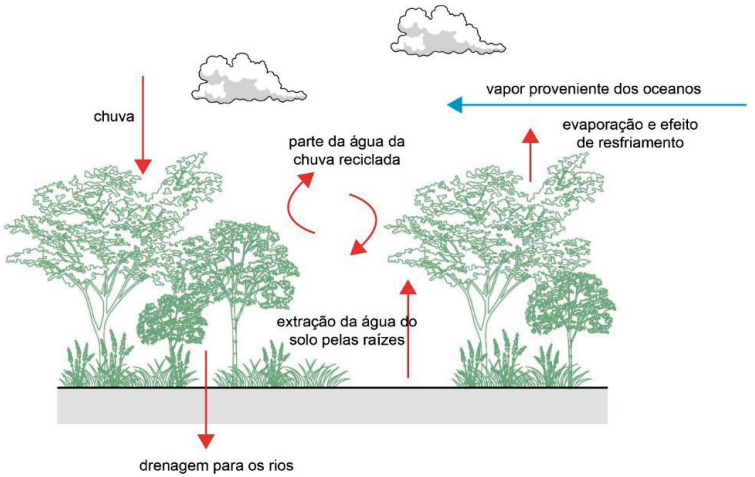


Ilustração: Leticia Evelyn.

Na natureza, a proporção e a velocidade com que a água circula nessas diferentes fases do ciclo hidrológico varia de acordo com fatores como a cobertura solo, altitude, topografia, temperatura, tipo do solo e geologia. Para a manutenção do equilíbrio dinâmico do ciclo, a cobertura vegetal é responsável por manter os padrões naturais de infiltração e escoamento uma vez que aumenta a permeabilidade do solo por meio da sua estrutura de raízes, consome parte da água precipitada e aumenta a capacidade de retenção da água pela rugosidade que gera no solo. Contribui, assim, tanto para o aumento da recarga quanto para a diminuição do escoamento superficial (MACHADO; PACHECO, 2010).

Apesar de compor um único ciclo, a distinção entre águas superficial e subterrânea é útil, pois as variáveis que afetam o comportamento das águas quando estão em contato com a superfície da Terra desempenham

dinâmicas diferentes em seus fluxos e tempos dentro do ciclo hidrológico. Por sua vez, as águas superficiais se dividem entre ecossistemas aquáticos lênticos e lóticos, ou seja, em águas correntes (rios, córregos etc.) ou paradas (lago, reservatório, etc.). Isso gera diferentes características em suas morfologias, nos padrões de sedimentação, na química da água e na biologia de organismos aquáticos (WETZEL, 2001).

Essa informação é muito importante quando se precisa definir um curso d'água para lançamento de esgotos tratados, pois as águas correntes possuem uma capacidade de dispersão de poluente muito maior (graças à oxigenação resultante da correnteza). As águas lóticas exigem um tratamento mais caro para que não fiquem poluídas, tema que será tratado adiante.

Por sua vez, as águas superficiais (lênticas e lóticas) fazem parte do ciclo hidrológico e se encontram ligadas às águas subterrâneas, dado que grande parte das águas superficiais perenes tem origem nos aquíferos compostos pelas águas dos lençóis freáticos.

A água subterrânea ocupa a zona saturada do subsolo formando aquíferos que são unidades geológicas capazes de armazenar, filtrar e liberar água em sua relação com os diferentes tipos de solos e rochas. Diferentes tipos de aquíferos podem ser sobrepostos dependendo da profundidade em que estão localizados, isto é, na mesma área da superfície de uma cidade pode-se encontrar mais de um aquífero de acordo com a profundidade analisada. Assim, o grau de impermeabilidade do solo urbano traz profundos impactos nos volumes de escoamento superficial e de recarga dos lençóis freáticos e aquíferos.

Ciclo Hidrológico Urbano

Ao adicionar a cidade como mais um componente que atua sobre o ciclo da água tem-se o Ciclo Hidrológico Urbano, constituído pelos impactos de uma cidade sobre o ciclo da água nos níveis local e global. Trata-se do ciclo hidrológico natural alterado e com características que impactam na qualidade e na quantidade da água.

De forma sintética, algumas das principais alterações causadas pela urbanização do ciclo natural da água são:

1. Aumento da impermeabilização do solo, que diminui a quantidade de água infiltrada de forma natural;

2. Aumento do escoamento superficial;

3. Redução de cobertura vegetal, que leva à diminuição da permeabilidade do solo, da evapotranspiração e da unidade, podendo causar alterações no clima, aumento do escoamento superficial, erosão do solo e perda da qualidade e quantidade de água disponível;

4. Alteração dos canais de drenagem naturais por drenagens construídas e vias impermeabilizadas, que aceleram e alteram o percurso e o destino da água da chuva;

5. Modificação de cursos d'água e rios por barragem, alargamento ou canalização que geram maior sensibilidade a inundações e alteração da biota;

6. Geração de esgoto e esgoto de água pluviais que são depositados, com ou sem tratamento, em corpos d'água ou infiltrados no solo a partir de vazamentos que causam poluição dos oceanos, lagos, rios, solos e aquíferos;

7. Geração e deposição de resíduos sólidos em áreas que podem vir a contaminar a água do solo (MARSALEK et al., 2013).

A compreensão dessas alterações deve ser estudada dentro do recorte da bacia hidrográfica, que é a unidade territorial a ser analisada para definir as formas de ocupação do solo e prever os possíveis impactos, de modo a mitigá-los.

O comum para o urbanista é ver a cidade como um conjunto de bairros, mas essa seria uma unidade de morfologia urbana ou até socioeconômica. Do ponto de vista das relações com o meio físico, a cidade deve ser vista a partir da bacia hidrográfica, que é onde ocorrem os processos naturais.

Figura 7 – Características de uma bacia hidrográfica com suas linhas de drenagem

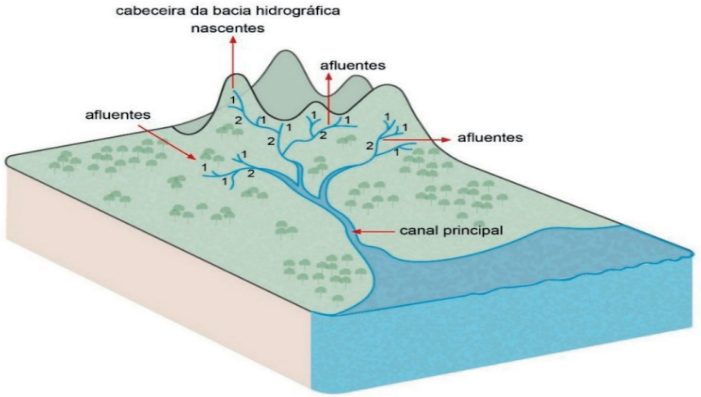


Ilustração: Leticia Evelyn.

Uma bacia hidrográfica compreende um complexo sistema de sub-bacias hidrográficas e microbacias cruzadas por um rio principal e seus afluentes em todo o seu curso, desde sua nascente (ou cabeceira) até sua foz no mar. Este conceito é aplicado em diferentes escalas, desde

uma superfície atravessada por um riacho até grandes bacias fluviais ou lacustres.

O que é uma nascente?

Nascente é o lugar onde a água do lençol freático brota e forma uma corrente pequena de água, ou seja, o lençol freático intercepta a superfície do solo, resultando em um fluxo natural de água subterrânea.

O que é uma foz?

Foz é o local onde uma corrente de água, como um rio, deságua. Pode ser outro rio, um grande lago, uma lagoa, um mar ou o oceano. Quando um rio desagua em outro se diz que esse é um afluente do que recebe as águas.

Figura 8 – Foz e nascente de um corpo hídrico

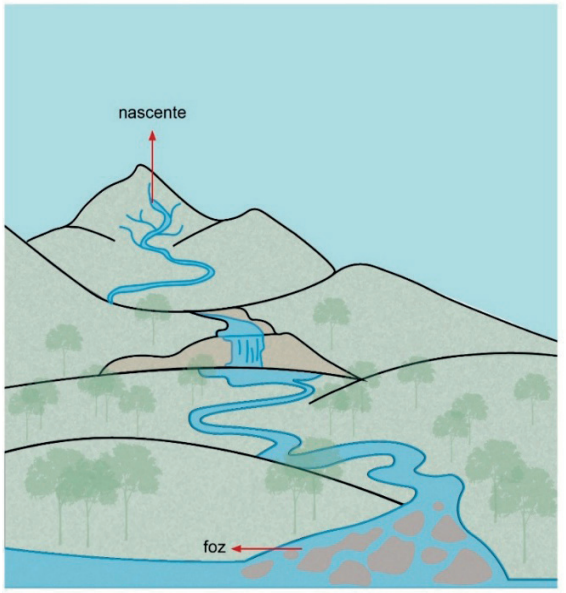


Ilustração: Leticia Evelyn.

Devido às alterações no ciclo hidrológico provenientes da urbanização, o balanço hídrico das bacias hidrográficas urbanas apresenta grandes variações em relação à sua condição natural. É na observação do ciclo hidrológico que se verifica a lógica de funcionamento das relações entre solo e água.

Veja um exemplo: com a redução da vegetação e a impermeabilização do solo, parte da água que infiltrava o solo ou evaporava passa a compor o escoamento superficial, ocasionando a redução do tempo de concentração da água na bacia e o aumento da vazão de pico (quantidade de água que chega ao rio para onde naturalmente as águas iriam), levando à inundação.

O desconhecimento dessa questão pode levar a situações de (i) ocupação de áreas de recarga de aquífero; (ii) implantação de tecnologias de infraestrutura inadequadas, com sistemas de drenagem que promovam o aumento da descarga de pico e o agravamento das cheias à jusante; entre outras.

Identificar as áreas que podem ser urbanizadas e mapeá-las permite diagnosticar o modo correto de ocupá-las para que não ocorram os problemas relatados.

2.1.2 Meio biótico

De acordo com MOTA (2003), o meio biótico corresponde à flora (vegetação) e à fauna (animais), sendo dois fatores ambientais intimamente interligados em sua dinâmica, onde as características e a diversidade de vegetação refletem diretamente sobre a fauna.

I – Vegetação

A vegetação é um dos fatores ambientais mais sensíveis às formas de ocupação do solo, uma vez que é a primeira a ser impactada com quaisquer das atividades antrópicas. Seu estado permite reconhecer de imediato a integridade do ecossistema, sendo uma característica muito valorada pelos planejadores, por ser de fácil apreensão. A urbanização resultará sempre em uma diminuição ou ausência da cobertura vegetal original do solo, mas é possível realizar uma ocupação ordenada, reduzindo os efeitos que o desmatamento gera sobre pessoas e natureza, elaborando projetos que mantenham as áreas mais preservadas e, ainda, acompanhando as obras para que somente sejam desmatadas as áreas realmente necessárias para a implantação dos lotes.

Conhecer o estado atual da vegetação de uma área a ser ocupada é essencial para explorar as possiblidades de sua permanência em favor da população e da fauna. A relevância não está em apenas manter a vegetação em si, mas porque ela possui interligação com outros fatores como o solo, a água e o clima. Sua destruição resultará em perda de serviços ecossistêmicos. No quadro a seguir são apresentados alguns benefícios do cuidado com a vegetação.

Box 12 – Cobertura vegetal e o reflexo no ambiente urbano

- Contribui para a retenção e a estabilização dos solos.
- Previne a erosão, pois favorece a infiltração da água, proporcionando menor escoamento superficial.
- Integra o ciclo hidrológico pelo processo de transpiração.
- A sombra sobre os cursos d'água mantem a temperatura adequada às diversas espécies de peixes e de outros organismos aquáticos.
- Influi no clima, pois interfere na incidência do sol, velocidade dos ventos e precipitação de águas pluviais.
- Fornece oxigênio ao meio por meio da fotossíntese.
- É fonte de alimentos e de matéria-prima.
- Está intimamente ligada à paisagem, oferecendo aspecto visual agradável.
- Constitui habitat para diversas espécies da fauna.
- É meio dispersor e absorvente de poluentes atmosféricos e pode, sob certas circunstâncias, servir de barreira acústica à propagação de ruído.

Fonte: Adaptado de MOTA, 2003.

II – Fauna

A fauna está diretamente ligada à biodiversidade, ou seja, à variedade de seres vivos – animais ou plantas. Por isso, o seu reconhecimento e mapeamento auxiliam nas definições das áreas que devem ser protegidas. Conhecer a fauna local e onde se encontram zonas endêmicas auxilia em uma definição mais embasada de áreas a serem protegidas e, também, na definição de um sistema de áreas verdes urbanas, no âmbito do projeto urbanístico, que possa manter as condições de trânsito dos animais.

2.2. Definindo a ocupação do solo por meio das condicionantes ambientais do lugar

Como abordar todas essas condicionantes ambientais durante a atividade de planejamento urbano? Esta é uma pergunta legítima, pois são muitas as interrelações que não são do nosso campo disciplinar de forma direta.

Como foi discutido, não é possível ignorar todas essas relações que são determinantes para a promoção da qualidade de vida, ambiental e que impõem custos sociais e econômicos às pessoas.

As informações são úteis para a escolha das melhores áreas de expansão da cidade e, também, para elaborar um projeto urbano de parcelamento do solo com o menor impacto sobre o ecossistema e para a seleção de diferentes opções de tecnologia de infraestrutura urbana, seja de drenagem, esgotamento sanitário ou sistema viário.

Seguem informações introdutórias às duas abordagens necessárias para tratar com as condicionantes ambientais da urbanização: a cartografia, pois tudo deve ser representado em mapas, onde a topografia é essencial; e a metodologia de planejamento territorial, ou como reunir as várias informações mapeadas e visualizar as interfaces entre elas de modo a optar por uma estratégia de ocupação do solo que minimize impactos e riscos.

2.2.1 Cartografia de apoio a um projeto de urbanismo: usando a topografia para delimitação da bacia hidrográfica

Para que serve a topografia? Qual a sua importância? Essas são perguntas comuns na fase de formação profissional, especialmente quando ainda não foram articuladas todas as informações para atuar na profissão, e algumas parecem dispensáveis.

A topografia, por definição, é a ciência que estuda e descreve as características naturais e artificiais de um terreno, fornecendo informações precisas sobre sua forma, localização e dimensões. Por meio de medições precisas, a topografia permite a criação de mapas e plantas detalhadas que são fundamentais para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura, obras civis e outras atividades que requerem conhecimento detalhado do terreno.

A compreensão detalhada da topografia de uma região é essencial para:

- Fornecer informações vitais sobre as características do terreno, como elevações, declives e recursos hídricos, que são necessárias ao planejamento eficiente da ocupação do solo;

- Possibilitar a prevenção de desastres, pois auxilia na identificação de áreas suscetíveis a deslizamentos de terra, inundações e outros desastres naturais, permitindo a implementação de medidas preventivas adequadas;

- Promover a preservação ambiental pelo conhecimento exato da ocorrência de áreas de relevância ambiental, sejam áreas florestadas, íngremes ou manguezais, por exemplo, sendo possível minimizar o impacto ambiental das intervenções humanas;

- Definir a infraestrutura urbana adequada: sejam redes de drenagem, de abastecimento de água ou de transporte, garantindo que estejam adequadas às condições do terreno.

Tradicionalmente realizados com teodolitos, os avanços tecnológicos já permitem que os trabalhos de topografia sejam feitos de forma mais rápida, eficiente e acessível com a utilização de drones e inteligência artificial.

Sobre o levantamento topográfico

O levantamento topográfico pode ser executado por diferentes métodos, desde que garantam a mensuração dos dados referentes às características da superfície do local estudado, seu relevo, hidrografia, vegetação e elementos constitutivos como lotes, árvores, postes, meio fios e cercas.

Dependendo do tipo de projeto que o levantamento topográfico irá apoiar, há elementos e denominações diferentes:

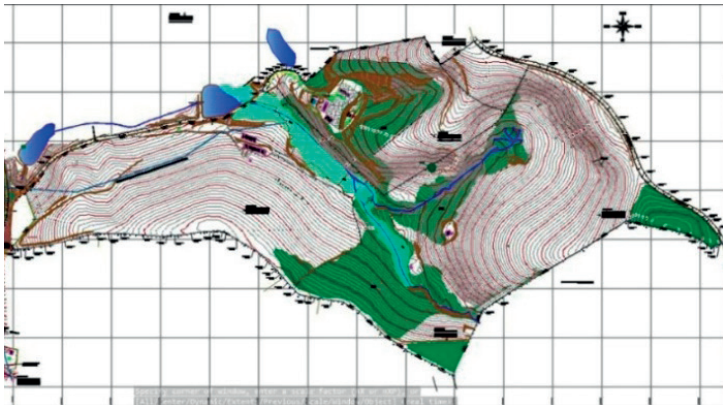
- **Planimétrico:** descreve o terreno horizontalmente, indicando as distâncias e dimensões de áreas dos elementos do lugar.

- **Altimétrico:** caracteriza a geomorfologia, registrando o grau de declividade por meio de cálculos relacionados ao relevo natural ou artificial.

- **Planialtimétrico:** é a junção dos dois tipos citados acima. Permite medir as projeções tanto horizontalmente quanto na diferenciação das alturas do relevo. Para definição do perímetro de uma bacia hidrográfica deverá contar, pelo menos, com as curvas de nível e a hidrografia.

As curvas de nível são os elementos que mais caracterizam um levantamento topográfico e se constituem em linhas de nível imaginárias nas quais todos os pontos dessas linhas têm a mesma altitude. Elas são sempre numeradas indicando a sua altura, dada em relação a uma determinada superfície de referência, geralmente o nível do mar. Ao definir a declividade, elas indicam como as águas estão drenando para um determinado curso de água.

Figura 9 – Exemplo de um levantamento planialtimétrico



Adaptado de Topografia Com Drones, Adenilson Giovanini, 2021

As curvas de nível são quase paralelas entre si, sendo que cada nível fecha sempre sobre si mesmo, ou seja, nunca se cruzam (podem se aproximar muito em áreas muito inclinadas). Quando há curvas de nível muito próximas, isso significa que um local é muito acidentado.

Outro aspecto que deve ser lembrado é que a equidistância não significa a distância de uma curva em relação à outra, mas a altitude entre elas, ou seja, o desnível entre as curvas.

Figura 10 – Exemplo de projeto de levantamento topográfico com mapeamento de vegetação



Fonte: Blog Projetou, Disponível em: https://www.projetou.com.br/posts/levantamento-topografico/

As cotas altimétricas do relevo são grafadas em cores diferentes para caracterizar faixas de altitudes e assim facilitar a leitura. É comum que a cada cinco metros, em caso de levantamento "metro em metro", se adote uma cor mais forte para facilitar a leitura do mapa. As escalas, por sua vez, são relações matemáticas entre a distância real e a distância representada nos mapas – e podem ser gráficas ou numéricas.

Existe uma convenção de símbolos para representar os diferentes elementos do levantamento. Eles são chamados de representação cartográfica e foram escolhidos para que, intuitivamente, se entenda seu significado, possibilitando a leitura da informação contida no mapa por qualquer pessoa, em qualquer parte do mundo.

2.2.2 Projeto urbano definido com base nas condicionantes ambientais do território

Uma metodologia de planejamento urbano que, infelizmente, não é a mais adotada é a "planejamento ambiental urbano". Ela se destaca por priorizar os aspectos do meio físico para definir as formas de ocupação do solo urbano, embora não deixe de considerar os aspectos socioeconômicos, colocando esses dois critérios em sintonia na tomada de decisão.

O conceito de planejamento ambiental foi desenvolvido de forma gradativa e apoiado em estudos acadêmicos da ecologia[5] e da arquitetura da paisagem[6], mas sua maior difusão ocorreu a partir de um método desenvolvido na década de 1960 que, de forma estruturada, passou a considerar a natureza nas decisões sem, necessariamente, contar com a mente de um ambientalista.

Provavelmente você imaginava que um conceito nessa linha era posterior à década de 1990, quando foi realizada a Conferência de Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas – a ECO 92. Contudo, antes do evento já existia muito conhecimento acumulado nos meios técnico e acadêmico, sendo a década de 1990 o período em que o assunto surgiu no plano político.

Um dos pioneiros na adoção de um método de ocupação do solo embasado nas condicionantes do meio natural foi o arquiteto da paisagem Ian MacHarg, que articulou os campos do urbanismo, ecologia, geografia e engenharia florestal na busca de uma metodologia que

5 A ecologia é uma área ampla da biologia que estuda as relações entre os seres vivos e o meio ambiente em que vivem. Sua definição como campo disciplinar é atribuída a Ernst Haeckel que, em 1866, publicou um livro chamado Generelle Morphologie der Organismen. Assim, a ecologia não é o estudo dos seres vivos, mas sim da interação entre eles e de como todos têm um papel na formação do ecossistema, termo derivado da ecologia.

6 Frederick Law Olmsted (1822-1903) é considerado o fundador da disciplina Arquitetura da Paisagem, que introduziu um novo paradigma de desenho de estruturas das áreas verdes da cidade. Mais do que um teórico, era um arquiteto que entendia que pelo tratamento das áreas verdes conectadas e com dimensões múltiplas se poderia proporcionar um espaço público que atendesse às funções ambientais, de infraestrutura, estéticas, de lazer e sociais.

utilizasse análises dos sistemas biofísicos e socioculturais para estabelecer qual seria o uso adequado para uma determinada área, considerando o propósito de não comprometimento dos ecossistemas.

O processo parte do entendimento de que os fenômenos naturais são processos dinâmicos inter-relacionados e suscetíveis ao risco. E que, se interpretados corretamente, pode-se definir quais os limites a serem obedecidos para que não haja algum tipo de risco, além de potencializar formas de ocupação que o ambiente favorece.

O método se vale de um processo denominado "*suitability analysis*" que, por meio da sobreposição ou da combinação de mapas de fatores do meio físico e biótico (geologia, hidrografia, topografia, vegetação etc.), se identifica tanto as limitações como as oportunidades de uso de uma fração do território, resultando em uma compatibilidade de usos.

Como se faz isso? Em síntese, como muito do que se apresenta neste livro com o intuito de despertar interesse para maior aprofundamento, a abordagem metodológica de sobreposição de informações se dá em quatro etapas:

I. **Caracterização e identificação de dados** – inventário cartográfico e fotográfico integrado, configurado em um banco de dados, que pode ser entendido como precursor dos sistemas georreferenciados da contemporaneidade. Nesta fase são identificados os processos naturais (clima, geologia, hidrologia, pedologia, vegetação e vida selvagem) e antrópicos (uso e ocupação do solo, identificação de marcos históricos e paisagísticos locais e de valores recreacionais).

II. **Mapeamento** – como resultado da fase anterior são criados mapas temáticos a serem sobrepostos. Primeiro os mapas-base dos fatores do meio físico (geologia, topografia hidrografia vegetação etc.) para, a partir deles, realizar os mapas analíticos, que são cruzamentos de informações para a criação de mapas como o de susceptibilidade à erosão, decorrente da topografia com os tipos de solo. Muitas combinações podem ser feitas para que a análise da área seja completa, como potencial perda de recarga de aquíferos, perda de biodiversidade ou, pelo lado da definição da ocupação, área não passível de erosão, por exemplo. No geral, devem ser exploradas as condições de potencialidades e fragilidades e estabelecidos graus de riscos (pelo menos 3 níveis: alto, médio e baixo). A representação no mapa deve ser em escala de cores para que fique fácil a compressão da equipe do projeto ou para uma discussão com a comunidade local. Dessa forma, chega-se a uma leitura imediata da paisagem com a localização exata de onde estão as áreas de maior risco sem precisar recorrer a um texto, trata-se de um método cartográfico.

III. **Modelagem** – os resultados obtidos nessas sobreposições são, então, discutidos por especialistas visando aos ajustes necessários sobre a assertividade da análise ao mesmo tempo em que se verificam quais os impactos podem vir a ocorrer, dependendo do que se deseja implantar na área estudada. Também são classificados os usos demandados pela população, ou pelo empreendedor, com suas pressões sobre o meio em termos de demanda de recursos (água, solo, ar, vegetação etc.), necessidade de impermeabilização e geração de cargas. Ao final, se obterá uma matriz de compatibilidade que associa a pressão que cada uso pretendido pode exercer com as características de cada localidade (potencialidade e fragilidades). Essa síntese, norteará o planejamento por meio de cenários de zoneamento de ocupação e do solo.

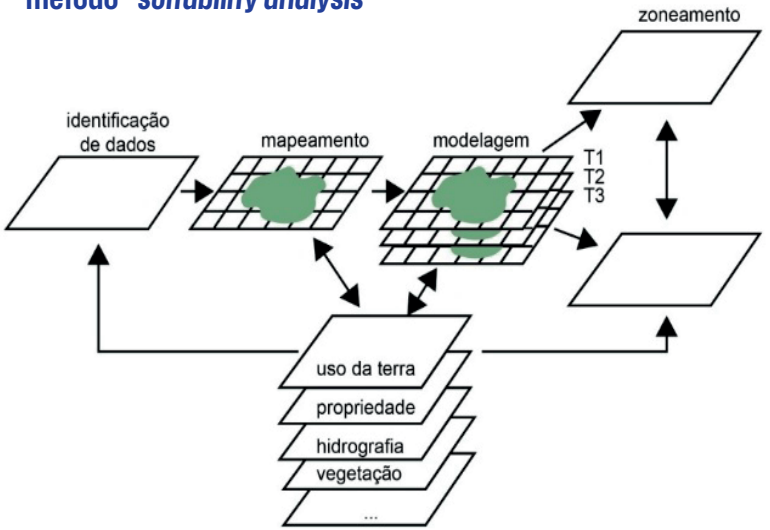
IV. **Zoneamento** – é feito um zoneamento prévio,

onde se esboça as zonas para os usos compatíveis, levando em conta o que foi definido na matriz. É realizada a análise da capacidade de resistência das áreas a partir dos mapas elaborados na fase anterior. Deve-se considerar primeiro as áreas mais frágeis, para definir proteção ou alocar os usos de menor pressão, e assim por diante. O uso de proteção é, obviamente, o de menor pressão e deve ser alocado nas áreas mais frágeis e/ou que tenham maior integridade do ecossistema. Para todas as zonas definidas, atribui-se um valor a ser preservado, por exemplo: valor histórico, ambiental, cultural, paisagístico etc. O exercício se faz para todos os usos, ajustando as características do lugar de modo que se explore o melhor lugar para cada uso.

De posse do pré zoneamento tem início o processo de priorização com base na relevância desses fatores/valores considerados fundamentais. Com o mapa são identificados os atores relevantes, que podem ser especialistas nas diferentes áreas de conhecimento ou membros da comunidade, para discutir um zoneamento ajustado às necessidades e riscos. Ao final, o pré zoneamento é refeito com base nas discussões com equipe e comunidade para se chegar a uma única proposta para uso futuro do solo.

No método original de McHarg é realizada, ainda, a análise dos aspetos socioeconômicos, mas aqui foram sintetizados os passos relativos à análise das condicionantes ambientais da urbanização.

Figura 11 – Esquema explicando as etapas principais do método "*suitability analysis*"



Fonte: Adaptado de MCHARG (1969), MCHARG, Design with Nature, 1969.

Como pode ser percebido, a grande vantagem do método é que ele é de base cartográfica, ou seja, não descreve, mas representa as características ambientais de determinada área e integra as informações por meio de mapas interpretativos dos fatores do meio físico e biótico. Essa abordagem é fundamental para o profissional do urbanismo e do planejamento urbano, pois ele pode espacializar os possíveis riscos de ocupação do solo e chegar a um zoneamento mais assertivo. A possiblidade de estabelecer um processo negocial com base em informações espacializadas permite a construção de entendimento entre os diferentes públicos envolvidos no projeto (técnicos, empresários, comunidade e políticos) sobre as condições fisiografias e das razões que amparam a proposta de ocupação do solo, apontando riscos e formas de evitá-los.

Esse método foi mais inovador à época, quando prevalecia a ideia de zoneamento com segregação de usos, pois o pressuposto é exatamente o contrário – o da complementariedade de usos do solo em função da própria dinâmica do meio socioambiental.

Ele também foi precursor do que atualmente conseguimos realizar por meio de sistemas de informações geográficas. Com a tecnologia existente, hoje se pode realizar várias simulações em curto espaço de tempo, o que era impossível na década de 1960.

O pressuposto é que a urbanização deve ocorrer apenas em zonas "intrinsecamente apropriadas", sem riscos ambientais (deslizamentos, inundações etc.) para população e/ou perda dos processos naturais.

Projetos emblemáticos de planejamento ambiental urbano

Entre os mais famosos projetos de McHarg aplicando o método de suitability analysis destaca-se o que ele descreveu no livro "Design With Nature", em 1969. Esse livro é considerado um marco do movimento ecológico por possibilitar o diálogo entre a ocupação e a natureza, referência feita por Eugene Odum, um pioneiro da ecologia, sendo talvez o mais citado na área.

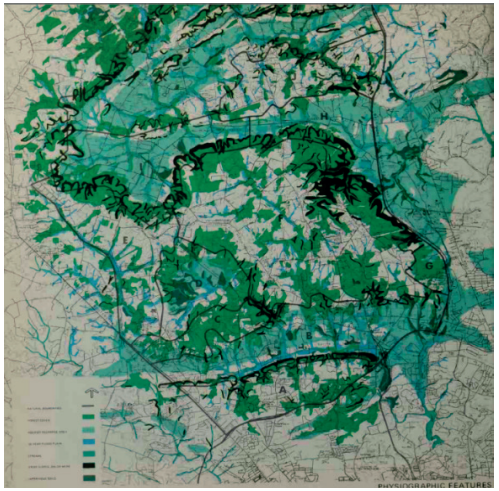
Para estimular quem se interessou pelo método, a seguir é apresentado um resumo de dois projetos: o dos Vales do Condado de Baltimore, Maryland, de 1962 (The Valleys) e o ordenamento territorial da Staten Island.

The Valleys

O The Valleys trata-se de um exemplo típico de crescimento suburbano em uma região metropolitana, uma zona que, segundo McHarg, normalmente é vítima de um urbanismo rudimentar. Este plano objetivou mediar a conservação de um corredor formado pelo vale fluvial Maryland, em Batimore (EUA), com o uso urbano. O plano se valeu do conhecimento da dinâmica dos aspectos fisiográficos para averiguar as oportunidades intrínsecas e as limitações existentes frente ao desenvolvimento urbano. Com o intuito de complementar as análises cartográficas e fotográficas, o autor realizava também cortes do relevo (perfis), intitulados por ele como seções físico-geográficas ecológicas, com o objetivo de compreender melhor as relações entre os diferentes elementos que compõem as características físicas do território. Esses estudos completavam e apoiavam a interpretação dos mapas temáticos em transparências sobre o uso do solo existente, marcos históricos, inundação e características geológicas para construir um mapa de aptidão sobre as características fisiográficas.

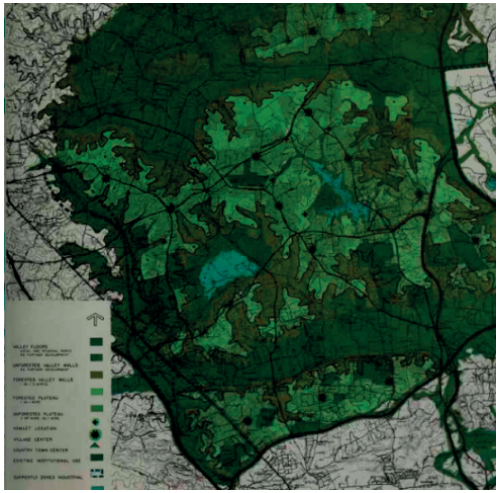
Um fator facilitador foi a concomitância de objetivos entre a política pública e os interesses dos proprietários privados. Ambos admitiram a necessidade de conservar a beleza natural dos vales, o que resultou em uma oportunidade única para demonstrar a possível convergência entre os interesses dos proprietários privados e governamentais com a proteção ambiental e a qualidade de vida urbana. Por fim, se chegou aos usos e às densidades adequadas segundo as diversas características fisiográficas.

Figura 12 – Características fisiográficas



Fonte: MCHARG, Design with Nature, 1969.

Figura 13 – Uso ótimo do solo

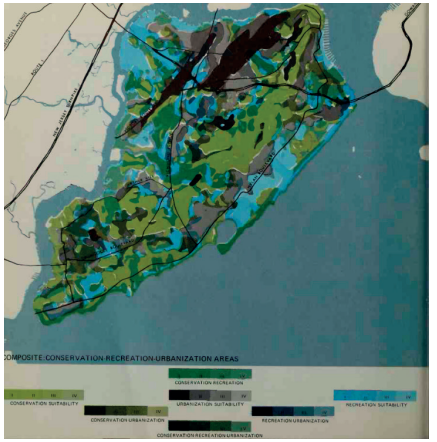


Fonte: MCHARG, Design with Nature, 1969.

Richmond (Staten Island)

O distrito de Richmond, em Staten Island, considerado um hiterland da cidade de Nova York, era uma área com diversidade de ambientes naturais para desfrute dos habitantes que estava sendo pressionada pelo grande crescimento da mancha urbana, sem considerar a riqueza natural da região. O estudo desta ilha foi solicitado pelo Departamento de Parques para conhecer as áreas com "idoneidades intrínsecas" e apontar os possíveis usos da região. Segundo McHarg, tratou-se de uma avaliação para saber quais zonas eram apropriadas para a proteção do meio ambiente, para recreação, comércio, indústria e residências. Foi produzida uma nova síntese, agora com as relações entre processos naturais e de uso do solo e a valoração quanto à possibilidade de uso e proteção. Como resultado, tem-se um mapa síntese – suitable map – de aptidões, no qual compreende-se onde deve ocorrer expansão ou adensamento urbano e as áreas que devem ser protegidas.

Figura 14 – Mapa síntese com as diretrizes de conservação, recreação e áreas urbanizadas



Fonte: MCHARG, Design with Nature, 1969.

Figura 15 – Adaptação da imagem da Staten Island



Fonte: MCHARG, Design with Nature, 1969.

Um pressuposto de McHarg era o de que uma vez entendido que um lugar é a soma dos processos naturais, esses processos se constituem em valores sociais possíveis de serem explicitados para a comunidade extrair possiblidades sobre atribuição de usos, resultando na tarefa de ajustar a atividade que vai potencializar os valores levantados. A isso ele denominava de "idoneidade intrínseca do lugar".

Referências – Capítulo 2

ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo de. Caracterização Física e Classificação dos Solos. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2004.

BOLUND, Per; HUNHAMMAR, Sven. Ecosystem services in urban areas. Ecological Economics, 1999.

CARVALHO, Daniel Fonseca; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. Ciclo hidrológico. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.

CAVALHEIRO, F. Urbanização e alterações ambientais. In: TAUK, S. M. Análise ambiental: uma visão multidisciplinar. São Paulo: UNESP-FAPESP, 1991.

COP26 (26ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima). Relatório oficial da COP26. Glasgow: UNFCCC, 2021.

GÓMEZ-BAGGETHUN, Erik; BARTON, David N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. Ecological Economics, 2013.

KERTZMAN, F. F. et al. Mapa de erosão do Estado de São Paulo. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 16, n. esp., 1995.

LOMBARDO, Magda Adelaide. Ilha de calor nas metrópoles o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

MACHADO, Ana Lúcia S.; PACHECO, Jesuéte Bezerra. Serviços ecossistêmicos e o ciclo hidrológico da bacia hidrográfica amazônica. Geonorte, 2010.

MARSALEK, Jiri et al. Urban water cycle processes and interactions. Paris: International Hydrological Programme, 2013.

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

MEA - Millennium Ecosystem Assessment Board. Ecosystems and Human Well-being: a framework for assessment. London: Island Press, 2005.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.

MOTA, Suetônio. Urbanização e meio ambiente. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

ODUM, H. T. Energy, ecology and economics. AMBIO, v. 2, n. 6, 1973.

TÔSTO, Sérgio Gomes; PEREIRA, Lauro Charlet; MANGABEIRA, João Alfredo de C. Serviços ecossistêmicos e serviços ambientais: conceitos e importância. Disponível em: https://www.ecodebate.com.br/2012/12/13/servicos-ecossistemicos-e-servicos-ambientais-conceitos-e-importancia-artigo-de-sergio-gomes-tosto-lauro-charlet-pereira-e-joao-alfredo-de-c-mangabeira/. Acesso em: 22 abr. 2024.

WETZEL, R. G. Limnology: lake and river ecosystems. San Diego: Gulf Professional Publishing, 2001.

3

Abordagens contemporâneas para a infraestrutura urbana



A partir da década de 1990, a noção de sustentabilidade aplicada às formas de produção, consumo e uso das cidades tem feito parte dos debates acadêmicos, políticos e culturais. Tornar esse discurso em prática tem sido um grande desafio, existindo vários avanços e muitos osbstáculos que passaremos a discutir.

A quase unanimidade no nível do discurso já se constitui em um avanço, dado que alterar ideias estabelecidas não é fácil, sendo muitas delas consolidadas a décadas. O ponto de inflexão na alteração de paradigma (mudança de visão sobre a solução para um assunto) se deu na relação entre sociedade e natureza, e não é de forma gratuita que existe no senso comum a percepção de que os termos “sustentabilidade” e “ambiental” sejam sinônimos, o que não é verdade.

O certo é que o tema da finitude dos recursos naturais, associado ao nível de poluição, foi o que despertou para a necessidade de revisão do modelo de desenvolvimento predominante até o início dos anos de 1990, sem que houvesse maiores críticas. Daí surgiu a associação entre sustentabilidade e proteção dos recursos naturais, mas o conceito vai além e procura rever outras inequidades do desenvolvimento, sendo a sustentabilidade tratada em pelo menos três grandes dimensões a serem equalizadas: a ambiental, a social e a econômica.

Sendo assim, quando se quer falar das relações entre cidades e natureza, o mais apropriado é se referir a sustentabilidade ambiental urbana, para ficar claro que não se trata do tema das desigualdades sociais, por exemplo.

Box 1 – A Rio 92

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro (RJ) em 1992, ficou conhecida como Eco-92 ou Rio-92 e resultou em desdobramentos importantes dos pontos de vista científico, diplomático, político e ambiental. O evento reuniu representantes de 113 países e de diversas organizações internacionais, ONGs, observadores e jornalistas inclinados a identificar, proteger, conservar, valorizar e transmitir às gerações futuras a importância do patrimônio cultural e natural.

As discussões tiveram como base o relatório "Nosso Futuro Comum", fruto de um grupo de trabalho criado na Conferência anterior, realizada em Estocolmo (Suécia), em 1972. Liderado pela médica sanitarista e primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, o trabalho foi publicado em 1987. Ele ficou conhecido como Relatório Brundtland e trouxe consigo o conceito de desenvolvimento sustentável.

Os estudos acadêmicos sobre sustentabilidade aplicada à cidade começaram a ganhar força nos anos 2000, quando surgiram vários programas de pesquisa multidisciplinar e redes independentes de cientistas que passaram a apresentar propostas de como avançar, na prática, para incorporar soluções sustentáveis às decisões de planejamento urbano e urbanismo. Também foi quando surgiram novos modelos de cidades, técnicas de renaturalização das cidades e revisão de tecnologias de infraestrutura urbana. Embora fossem resgatadas de ideias e estudos anteriores, foi nesse período que se tornaram mais difundidas e organizadas como novos paradigmas.

Box 2 – O conceito de paradigma

O filósofo e historiador da ciência Thomas Samuel Kuhn (1922-1996) estabeleceu o conceito de paradigma em seu clássico livro A Estrutura das Revoluções Científicas, publicado em 1962. Para Kuhn, paradigmas são realizações científicas que por um período fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade científica. O termo, que originalmente se referia apenas à ciência, hoje é aplicado ao pensamento e à atividade humana em geral. Trata-se de um padrão a ser seguido.

3.1 Caminhos para promover a sustentabilidade ambiental urbana

Como antes apontado, a sustentabilidade possui várias dimensões, sendo a ambiental aquela que abrange as discussões sobre a interação entre cidade e natureza. As discussões atuais sobre renaturalizar as cidades fazem parte da sustentabilidade urbana que envolve, ainda, equidade entre relações de caráter socioeconômico, cultural, institucional, entre outras.

Até aproximadamente o fim século XVII havia uma condicionalidade das ações humanas aos limites impostos pela natureza, que era vista como definidora de uma fronteira intransponível diante do conhecimento tecnológico da época. Com os avanços da Revolução Industrial, a natureza passou a ser vista como algo a ser conquistado, e seus recursos naturais apropriados como matéria-prima para atendimento das demandas socioeconômicas. A abordagem dominante passa a ser

antropocêntrica. Foi essa visão que contrastou com a aceitação do paradigma ecológico.

Box 3 – O que é antropocentrismo

Filosoficamente, a concepção antropocêntrica se refere ao homem como a referência máxima e absoluta de valores em um determinado sistema. Essa visão está presente em praticamente todos os setores da sociedade contemporânea, servindo de justificativa para o consumo inconsciente e não sustentável dos recursos naturais. Na ética, o antropocentrismo e os interesses humanos estão acima de tudo, discriminando outras raças, sendo atribuída relevância ética somente aos humanos, sendo os direitos ou dignidades dos animais inconcebíveis. O ecocentrismo se opõe ao antropocentrismo ao defender o valor não instrumental dos ecossistemas.

Como essa discussão se rebate nas cidades? Certamente trata-se de um paradigma em construção, existindo várias abordagens. Parafraseando Acselrad (1999), o debate da sustentabilidade nas cidades gerou várias articulações lógicas e, em particular, três representações distintas podem ser atribuídas à cidade sustentável:

I. A transição para a sustentabilidade associada à reprodução adaptativa das estruturas urbanas, com foco no ajustamento das bases técnicas das cidades, a partir de modelos de racionalidade eco energética ou de metabolismo fechado, que se baseia no subprograma da ciência da sustentabilidade de foco nos ciclos biogeoquímicos;

II. A matriz técnica da cidade é pensada por razões de "qualidade de vida", notadamente no que se refere às implicações sanitárias, de cidadania e patrimônio, enquanto identidade e cultura, que possui um foco social;

III. Busca a reconstituição da legitimidade das políticas urbanas tanto para garantir uma eficiência na administração dos recursos públicos como parar democratizar o acesso aos serviços, que vêm tomando um foco tecnológico.

Todas essas representações cabem na visão de sustentabilidade urbana, ainda mais no contexto das cidades de urbanização desigual, como as nossas, onde a primeira vertente não se dissocia da segunda, pois muitos dos problemas sanitários básicos não foram solucionados, diferentemente das cidades do Norte Global. A terceira vertente é mais abrangente e vai além da visão de sustentabilidade ambiental urbana tratada aqui.

A razão do recorte é que, certamente, em que pese o espaço expressar e ser expressão dos processos socioeconômicos, as intervenções urbanísticas possuem grande impacto na alteração do meio físico e biótico, sendo relevante conhecer os meios de atuar no atendimento das demandas socioeconômicas com uma menor pressão sobre o meio, sob pena de colocar em risco a segurança e a salubridade da cidade. Conceitualmente, essa opção se insere no fato de que o recorte da sustentabilidade ambiental urbana se constitui na base para a mudança do processo de insustentabilidade das relações com o território tanto no que se refere às tecnologias como aos padrões de ocupação do solo e suas formas de apropriação da natureza.

A crítica às formas de ocupação do solo patrocinadas pelo urbanismo e pelo planejamento urbano, como concebidos desde o início do século XX, ampara essa opção de leitura da cidade que busca reduzir as pressões sobre a natureza e de controlar os impactos decorrentes de tecnologias e modelos concebidos no contexto do antropocentrismo.

3.1.1 Leitura da cidade por meio de seu metabolismo: como fazer uma avalição do grau de sustentabilidade ambiental

Os estudos sobre as relações entre cidade e natureza se amparam em uma disciplina de especial interesse parar ampliar o alcance do conhecimento sobre o processo de produzir cidades: a ecologia urbana. Esse campo de pesquisa começou utilizando conceitos de ecologia para entender as cidades como um tipo de ecossistema, no caso o ecossistema urbano. Para Wu (2014), a ecologia urbana pode ser definida como o estudo dos padrões de produção do espaço urbano e seus efeitos em termos de impactos ambientais. A disciplina analisa os processos e serviços ecossistêmicos e como eles se relacionam com os aspectos socioeconômicos que alimentam as práticas de planejamento e desenho urbano.

Box 4 – Sobre a ecologia humana

O termo "ecologia humana" foi criado por Robert Park e Ernest Burggess entre as décadas de 1920 e 1930 como parte da necessidade de superar as limitações da ecologia geral, que concentrou seu objetivo de pesquisa excluindo os seres humanos e suas organizações enquanto parte natureza. O berço do nascimento dessa ideia foi a Escola de Chicago, com pesquisadores sociólogos que procuravam a compreensão da vida e cultura urbana, utilizando como base os conhecimentos ecológicos visando exemplificar como ocorriam as interações humanas nas cidades.

Veja que na origem não era uma visão de proteção da natureza, mas de entender as interações humanas. Bem mais tarde, o termo passou a ser usado como ecologia urbana, passando a considerar as cidades como parte de um ecossistema urbano e, portanto, analisando seu metabolismo, incluindo os fluxos de matéria e energia, visando compreender os impactos desencadeados pela urbanização.

A ecologia urbana se debruça sobre o estudo do ecossistema urbano, entendido como um sistema complexo que abrange tanto os aspectos naturais quanto os construídos de uma cidade. Ela envolve a interação entre os seres humanos e o meio ambiente urbano, incluindo a flora, a fauna, os recursos hídricos, a qualidade do ar, o clima, a infraestrutura, a economia, a cultura e a sociedade. É um conceito que reconhece a cidade como um organismo vivo, onde cada elemento desempenha um papel fundamental na manutenção do equilíbrio dinâmico e na promoção do bem-estar dos seus habitantes.

Dentro dessa perspectiva, a cidade pode ser caracterizada como um cenário de atividades conflituosas formada por um espaço heterogêneo, cuja estrutura, função e dinâmica são determinadas por interações entre natureza e sociedade. Seguindo essa lógica, o ambiente urbano pode ser entendido como um "organismo" em permanente transformação, sujeito e regido por interesses diversos, os quais buscam oportunidades para o desenvolvimento socioeconômico e veem os recursos da natureza como meios para funcionamento e operação de suas atividades, sejam de manutenção da própria cidade ou de atendimento aos interesses individuais. Muitos desses insumos são fornecidos pelos serviços ecossistêmicos, como água, alimentos, energia etc.

Para entender como essas relações ocorrem, foi criado um método de leitura denominado metabolismo urbano. Ele avalia como se dão as trocas de matéria e energia entre a cidade e seu ecossistema natural para identificar o grau de interação positiva ou negativa para a manutenção do ecossistema natural e dos serviços ecossistêmicos da cidade.

Outro conceito sempre associado à sustentabilidade ambiental é o de resiliência que, no caso urbano, se refere às características da cidade para fazer frente às pressões,

tanto antrópicas como de fenômenos naturais, e continuar mantendo sua funcionalidade. Uma maior resiliência advém de uma maior integração entre a cidade e seu ecossistema, pois isso lhe dará capacidade de suportar pressões e/ou de se recuperar. Os dois conceitos, de metabolismo urbano e de resiliência, estão relacionados e apoiam a compreensão das relações de sustentabilidade ambiental urbana.

Box 5 – Ações de promoção da resiliência urbana

Proteger os ecossistemas e as zonas naturais para atenuar alagamentos, inundações ou outras ameaças. Entre as medidas estão o controle de ocupação de áreas íngremes ou de áreas de proteção ambiental (APPs).

Aumentar a resiliência da infraestrutura e investir em soluções que possuam lógica adaptativa à dinâmica urbana e às mudanças climáticas, como é o caso de pavimentos mais permeáveis.

É possível retroceder até 1965 para encontrar no livro de Wolman, denominado de The Metabolism of Cities[1], o termo metabolismo adotado para descrever as cidades. Contudo, uma maior difusão se deu após um congresso ocorrido em 1983, no Japão, onde Girardet[2] descreveu como as cidades exportam seus resíduos para áreas muito além de suas fronteiras, causando impactos ambientais tanto na retirada dos recursos naturais, para processamento de produtos, como na deposição de resíduos depois de utilizados. O autor afirma que isso ocorre porque os sistemas naturais possuem um metabolismo linear e advoga que promover metabolismo

1 WOLMAN, *The Metabolism of Cities*, Scientific American,1965.

2 C. Kennedy, S. Pincetl, e P. Bunje, *The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design, Environmental Pollution* In Press, Corrected Proof (2010). 10.1016/j.envpol.2010.10.022.15.

circular, tanto no consumo de recursos quanto na emissão de resíduos, seria a forma de agregar sustentabilidade ambiental às cidades. Mais adiante, nos anos de 2000, outros autores, como Rogers e Gumuchdjian[3], retomam o tema e ampliam a leitura de metabolismo para outros campos que não só o de resíduos.

Embora os dois modelos de metabolismo (linear e circular) possam ser utilizados para a leitura de diferentes condições de funcionamento das cidades, eles possuem nos sistemas de infraestrutura urbana uma adequação clara, onde facilmente se percebe sua lógica e, consequentemente, se avança para a proposição de soluções de redução de impactos ambientais.

Box 6 – Sobre o metabolismo urbano

O metabolismo urbano é uma analogia aos organismos vivos que recebem nutrientes da alimentação, transformam-nos e excretam o que não é útil. O metabolismo urbano seria, então, um conjunto de transformações e mudanças que se processam nas cidades para seu funcionamento e que se refere à relação entre os recursos naturais consumidos pelas cidades e os resíduos por elas gerados.

O metabolismo urbano linear refere-se a um tipo de funcionamento no qual os recursos que entram para manter a cidade saem quase todos em forma de dejetos, que podem ser observados no funcionamento de quase todas as tecnologias de infraestrutura urbana características do século XX. O linear traduz a forma tradicional de construirmos cidades em um contínuo de consumo de recursos naturais e produção de resíduos.

Apesar de ser possível fazer a leitura do funcionamento de várias atividades que mantém a cidade, aqui será

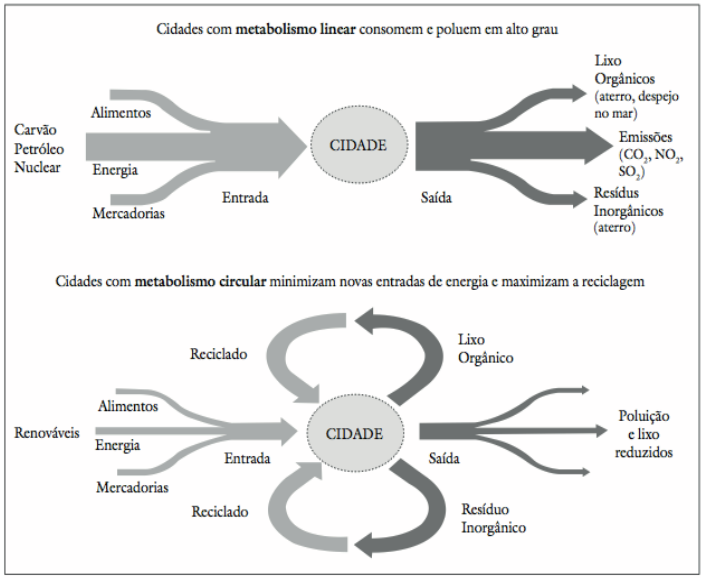
3 R. Rogers e P. Gumuchdjian. *Cidades para um pequeno planeta*, 1ª ed., São Paulo, Gustavo Gili, 2014.

utilizada a drenagem para exemplificar. Um sistema eficiente de drenagem, no modelo convencional, é entendido como aquele que tem capacidade de receber rapidamente toda a água da chuva que escoa sobre a cidade, sem gerar alagamentos, direcionando essa água para tubulações que as lançam em um curso de água (rios), longe da área urbana e, de preferência, onde exista vazão para recebê-las sem gerar inundações. É exatamente esse "metabolismo" que se chama de linear: ele recebe um recurso (água) e leva para longe do local onde ele deveria infiltrar e recarregar o lençol freático. Às vezes, a água percorre grandes distâncias pelas tubulações até ser lançada em outra bacia hidrográfica. Se tiver sorte, o curso d'água terá como recebê-la sem maiores impactos adversos.

E na área urbana, onde essa água precipitou, o que ocorre? O solo deixa de receber água por infiltração e não recarrega os lençóis freáticos, o que faria os rios terem água para abastecimento ou outros fins. Essa água foi lançada em outra bacia por meio de tubulações de drenagem, ou seja, ele retira o recurso de um lugar, o utiliza e despeja em outra localidade, sempre mais longe, ampliando a linearidade do metabolismo. No caso do abastecimento de água, esta é captada em uma fonte de qualidade longe da cidade e, após ser utilizada, torna-se esgoto lançado em bacia diferente de onde a água foi captada, repetindo a linearidade do sistema.

Mas, como seria diferente? Em oposição à forma tradicional de entrada de insumos (recursos naturais) e saída de resíduos, o metabolismo urbano circular irá funcionar de modo a maximizar os processos de reaproveitamento e reciclagem, adotando soluções que se assemelham ao comportamento da natureza. O "organismo" urbano passa a depender de mecanismos de autorregulação para que ocorra o desejável equilíbrio dinâmico proposto nos debates da sustentabilidade urbana e na visão ecossistêmica da cidade.

Figura 16 – Metabolismos das cidades



Fonte: GIRARDET apud ROGERS, 2014

Dentro do marco do metabolismo urbano foi criado o conceito de pegada ecológica, que visa dimensionar o grau de impacto dessa dependência da cidade em relação ao seu entono. A pegada ecológica seria o modo de avaliar o grau de sustentabilidade ambiental de uma cidade por meio de seu metabolismo. Ela permite verificar a saúde dos serviços ecossistêmicos que suportam a nossa economia e pode ser pensada em nível global, nacional, municipal ou até individual.

Agora, voltando ao exemplo do abastecimento de água, e tendo em conta que a água é captada longe da cidade e seus esgotos serão lançados, também, longe da cidade, toda essa área de abrangência do território, desde a captação até o lançamento, seria o tamanho da pegada ecológica da cidade. Quanto maior for a pegada, menos sustentável será a cidade.

Ao contrário, utilizando a drenagem como exemplo, se a água que cai sobre a cidade é infiltrada na bacia onde precipita, sem necessidade de ser encaminhada para outra localidade, será criado o metabolismo circular, onde o funcionamento da solução de infraestrutura está em sintonia com o ciclo hidrológico, sem impactar outros territórios e mantendo os serviços ecossistêmicos da cidade. A lógica da implementação de um metabolismo circular seria reduzir a pegada ecológica.

A revisão tecnológica da infraestrutura urbana, chamada de infraestrutura tradicional ou cinza, típica das cidades do século XX para tecnologias sustentáveis como a infraestrutura verde ou soluções baseadas na natureza, é uma reversão de metabolismo. Esse assunto será retomado mais adiante.

Ampliada a leitura para além das soluções de infraestrutura, os padrões urbanos prescritos pelo urbanismo tradicional podem ser pensados como de metabolismo linear na medida em que promovem a excessiva impermeabilização do solo e a contínua expansão da mancha urbana. Criando uma cidade dispersa que pressiona novas áreas naturais e abandona áreas deterioradas. Nesse processo, os centros urbanos ficam sem renovação, ou seja, a terra urbana não é reciclada.

Uma urbanização com o metabolismo circular pressupõe cidades mais compactas, que ocupem menos área, e permitam deslocamentos a pé que reduzam gastos de energia e lançamentos de poluentes na atmosfera. Há, ainda, a questão do verde urbano na forma de arborização das ruas, parques, praças ou florestas, que devem manter a permeabilidade garantindo a função ecológica que, em muitos casos, não ocorre, ou seja, nem toda área verde possui uma função ecossistêmica. Em um sistema de metabolismo circular, a infraestrutura se utiliza das áreas verdes para absorver as águas pluviais em vez de direcioná-las para outras bacias hidrográficas. Em outra frente, manter as áreas urbanas já consolidadas, garantido condições para sua não deterioração, evita o espraiamento das cidades e reduz a pegada ecológica. Esses são exemplos de novas formas de ocupação do solo e novas estratégias de urbanismo contemporâneo.

Esse seria o caminho para internalizar os conceitos de sustentabilidade e resiliência nas cidades e contribuir para um planejamento urbano que preserve os ecossistemas naturais ao mesmo tempo em que propicie o atendimento das demandas socioeconômicas.

3.2 Opções tecnológicas de infraestrutura urbana: pensamento convencional e contemporâneo

Para a ampliação da discussão sobre as tecnologias de infraestrutura urbana é essencial a compreensão do processo histórico de consolidação das soluções que hoje são denominadas convencionais e, ainda, dos impactos adversos gerados por seu uso indiscriminado em qualquer contexto urbano.

O conhecimento das bases científicas e tecnológicas que levou ao desenvolvimento de conceitos e processos é relevante para a aplicação de uma determinada técnica de infraestrutura. Em especial, conhecer as questões e os problemas para identificar se o desafio atual se assemelha com o que originou a solução técnica. Por outro lado, esse entendimento permitirá proceder adaptações que se ajustem ao novo problema que aflige a cidade na atualidade. Além disso, conhecer as técnicas inadequadas empregadas no passado fornecem um aprendizado, pois servem para evitar novos erros, o que levará a novas descobertas tecnológicas.

Mas, do que se está falando, exatamente? O que tem de errado com as soluções de infraestrutura concebidas no século XIX e que são usadas atualmente?

Existe uma ideia preconcebida de solução tecnológica para cada infraestrutura sem questionar se ela se adequa ao contexto atual. Isso se chama pensamento paradigmático e pode ser aplicado em várias áreas da nossa vida. Sempre temos uma ideia de verdade sobre as soluções – pode ser de cura de uma doença ou até de como se comportar em determinadas situações.

Ao se falar em pavimentar uma via, o imaginário de todos, cidadãos e técnicos, leva a pensar em asfaltamento. E sobre dotar um parcelamento do solo com esgotamento sanitário? Você não imaginou uma rede de coleta de esgotos? Pois é, isso significa que a solução tradicional está estabelecida na sociedade como um paradigma.

Tanto as instituições que promovem reprodução do conhecimento – as universidades – como o poder público, em suas intervenções na forma de políticas públicas, contribuem, na maioria das vezes, como difusores de tecnologias tradicionais. São soluções que se instalaram em determinado momento como adequadas a um determinado contexto e, a partir dali, foram definidas como "verdade". Esse pensamento paradigmático acaba restringindo novas ideias, e os profissionais que atuam na área param de se perguntar como solucionar um problema, pois parece que já existe solução pronta e correta.

Desde o fim do século XIX, quando a maioria das soluções tecnológicas que conhecemos na área de infraestrutura urbana foram estabelecidas (redes de abastecimentos, esgotamento, drenagem, tipos de pavimentação, dimensionamento vias, entre outras), elas veem sendo difundidas como as melhores e, mais ainda, como as únicas soluções tecnicamente aceitáveis.

Acho oportuno pensar que essas soluções não têm sido capazes de atender a maior parte da população. Será que o problema é sempre da gestão urbana ou, também, pode ser do fato de as técnicas serem defasadas? E mais, essas técnicas têm gerado impactos negativos de ordem socioambiental, como é o caso de:

- Excesso de impermeabilização decorrente do uso indiscriminado do asfalto e da quantidade de áreas pavimentadas das cidades;

- Sistema de drenagem que escoa a água sem infiltrá-la, levando ao rebaixamento de lençóes freáticos, escassez de água e alagamentos.

Ao se rejeitar outra solução de esgotamento, adota-se a técnica com tubulações que enviam a água para estações de tratamento em qualquer tipologia urbana, incluso as áreas de baixíssima densidade, implicando em custos elevados quando se poderia usar esses recursos para áreas mais adensadas.

Por essas razões, é oportuno discutir o papel das tecnologias apropriadas, ou seja, aquelas que consideram a viabilidade técnica, financeira e ambiental de cada lugar. O desafio é identificar qual tecnologia de infraestrutura é apropriada em relação aos padrões de uso e à ocupação do solo e aos condicionantes ambientais do território.

Essa será a equação que dará sustentabilidade financeira e socioambiental. Em outras palavras, dar viabilidade para responder aos problemas colocados pela urbanização no contexto das condicionantes locais ao invés de empregar as técnicas mais difundias, e que foram concebidas em outro contexto temporal.

Para que se avance na discussão sobre a adoção de padrões tecnológicos de infraestrutura urbana e dos problemas ambientais decorrentes de sua inadequação se faz necessário a ampliação do conceito de tecnologia, isto é: entendê-la como o conjunto de técnicas e suas implicações econômicas e socioambientais. Pensar a tecnologia apenas como meio instrumental, com o qual

se executam decisões políticas, é uma simplificação que deixa de entrever o papel das decisões tecnológicas sobre a gestão do território.

A escolha de um padrão tecnológico incorpora em si mesmo uma decisão política; e as decisões políticas são tomadas a partir das informações disponíveis sobre as opções tecnológicas, bem como da avaliação de sua eficácia feita pela população a ser atendida. Assim, quem possui uma única alternativa está limitado a prescrever um único "remédio" para todas as doenças.

Infelizmente, em países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos predomina a ideia de revisão de padrão tecnológico na área de infraestrutura urbana apenas como uma necessidade de baixar custos para atendimento das áreas de mais baixa renda. Essa tem sido a mais recorrente justificativa para não utilizar as tecnologias convencionais, e nisso reside a grande dificuldade em avançar para outras soluções que podem ser mais adequadas, pois a população a ser atendida tende a entender que a nova tecnologia é a mais barata e não a melhor, pois o argumento do custo é o que desponta.

É importante considerar que as demandas da população em termos de soluções de infraestrutura são formuladas, quase sempre, em função das tecnologias conhecidas e, em particular, daquelas que são padrão nas áreas mais ricas das cidades, que, por sua vez, são as convencionais. A população dos bairros mais pobres não discute a eficácia dessas soluções, e nem é papel dela fazer isso. Quando lhe é dado espaço de manifestação sobre suas expectativas em relação a melhorias urbanas, a tendência é expressar o desejo de possuir as mesmas soluções adotadas em áreas centrais e privilegiadas da cidade.

O paradigma está internalizado na população e, também, no meio técnico. Para que uma mudança de cultura se estabeleça, ela deve ser precedida de um amplo programa informativo sobre funcionamento, perdas e ganhos para a população. Para isso, deve-se estudar uma solução que gere menor impacto socioambiental, e essa tem que ser o foco para uma revisão de solução tecnológica.

Tendo em conta que, em muitas situações, a técnica tradicional será a mais adequada, deve-se considerar que o caminho pode ser a adoção de uma solução hibrida. Para exemplificar, se não for possível adotar uma solução de esgotamento sanitário por fossas em uma área adensada, com edifícios e lotes com 100% de ocupação, o melhor é instalar a rede de esgotos tradicional.

A solução adequada é a que se ajusta ao local tanto em relação aos condicionantes ambientais como dos padrões urbanísticos, devendo ser viável economicamente. Perguntar para população o que ela quer e, então, "fornecer o serviço" é um falso ato democrático de participação, além de ser uma omissão do profissional. A prática responsável consiste em fornecer as opções e esclarecer as vantagens e as desvantagens de cada possibilidade para que a população tome a decisão.

O que se tenta aqui é instigar os profissionais da área do urbanismo e do planejamento urbano, agentes do poder público ou projetistas particulares, a terem um papel significativo tanto na avaliação da adequação das soluções como em ofertar opções a população. Para tanto, os profissionais necessitam ser conhecedores dessas opções para não caírem no equívoco de pensar que introduzir alterações ou adaptações tecnológicas em infraestrutura urbana significa menor custo, pois esse não é o maior problema. A inadequação é o maior problema.

A experiência indica que não é tão fácil e que, em geral, são as variáveis não técnicas que decidem a aceitação ou a recusa da inovação. Então, os objetivos devem ser explicitados para além de custos.

E quais são eles? Criar um sistema de infraestrutura integrado às formas de uso e ocupação do solo e que se adapte e seja resiliente às mudanças que sempre ocorrerão nas cidades. Assim, o primeiro grande questionamento que o técnico tem que fazer é sobre a desconexão entre as soluções urbanísticas e de infraestrutura, e desta com a natureza.

Existe uma visão limitada do que é a gestão integrada entre o uso do solo e as soluções de infraestrutura urbana, pois no modelo tradicional são dois campos disciplinares distintos que pensam as soluções, sendo que o da infraestrutura já tem a solução pronta, restando apenas ajustar ao espaço da cidade.

Um define os padrões urbanísticos e o outro toma como premissa essa ocupação e calcula quanta água será escoada ou quantos veículos irão trafegar e dimensiona um sistema que é sobreposto ao projeto urbano. Não se questiona a forma de ocupação que, na maioria das vezes, pode sinalizar soluções melhores e mais integradas.

Esse pensamento leva a uma visão estática das soluções de infraestrutura, pois todas as vezes que ocorre alguma mudança na ocupação do solo, e sempre ocorrerá (a cidade é dinâmica), a solução de infraestrutura estrará obsoleta porque foi pensada para a ocupação anterior. Um cálculo feito para aquelas condições resultou em um dimensionamento de dutos ou de vias para aquela ocupação e uso do solo. Daí serão necessários alargamentos e trocas de tubulações, fora os anos que se passam com alagamentos e congestionamentos. Nunca se discute se poderia ser diferente.

3.2.1 Articulação entre projeto urbano e soluções de infraestrutura urbana

O conceito de metabolismo urbano linear permite identificar que a urbanização convencional, que se vale de soluções de infraestrutura com paradigmas tecnológicos oriundos da engenharia de saneamento e de transportes do início das cidades industriais, não considera a lógica de funcionamento dos ecossistemas, gerando impactos ambientais adversos.

A engenharia de saneamento surge do enfrentamento da insalubridade das cidades industriais, marcadas por doenças geradas pelo esgoto, águas pluviais com poluição difusa resultante do lançamento de efluentes diretos nos rios e a quantidade elevada de resíduos sólidos deixados nas cidades. A técnica era baseada na condução das águas por meio de tubulações subterrâneas, as quais retiravam o esgoto e as águas pluviais, que antes escoavam à céu aberto nas cidades. Essas águas eram encaminhadas para um sistema unificado, onde esgoto e água pluvial, sem receberem tratamento, eram lançados em cursos d'água. Desta forma, o sistema contaminou todos os cursos d'água das cidades industriais, como o rio Tâmisa e o canal de Manchester, berços da Revolução Industrial. Anos mais tarde, esse sistema seria individualizado no que se denomina sistema de saneamento separador, onde águas pluviais possuem uma tubulação e esgotos outra. A implantação do tratamento do esgoto antes de ser lançado nos cursos de água receptores foi outra inovação em relação ao sistema inicial.

Entretanto, ainda hoje existem cidades da primeira Revolução Industrial que possuem sistema unificados, embora nelas tenham sido iniciadas as soluções de separação da água pluvial por meio da infiltração, nos anos 1980. Incialmente, para reduzir o custo de implantação exclusivo para drenagem e, depois, por se

verificar o grande benefício ambiental da infiltração.

Nas cidades brasileiras de urbanização mais recente, onde os sistemas existentes foram construídos após os anos 1950, já foram implantados sistemas separadores, com previsão de tratamento para a rede de esgotos, o que, infelizmente, como se viu no capítulo 1, até hoje[4] não é a regra.

Em outra frente, a engenharia de transportes se desenvolveu com o advento tecnológico do automóvel e se especializou em adequar as cidades a esse novo modal de locomoção – se sobrepondo às estruturas urbanas existentes.

Ganha destaque o dimensionamento de vias, com pavimentação durável e seguro (impermeáveis) para o uso do carro, ficando em segundo plano os demais modos de locomoção – incluso o deslocamento de pedestres. Nesse movimento, a cidade se fragmenta e expande, em termos de mancha urbana, ligada por vias que ocupam, cada vez mais, as áreas naturais da cidade.

A setorização dos usos da cidade passou a exigir o uso do automóvel para vivenciá-la, aumentando o número de vias impermeabilizadas e a locomoção por veículos geradores de CO_2.

As consequências do metabolismo urbano linear são visíveis nos impactos ambientais, que possuem na redução da resiliência urbana um indicador de insustentabilidade. A consequência foi uma crescente crítica às bases consolidadas do urbanismo e das técnicas de infraestrutura para que adotassem uma lógica próxima ao funcionamento da natureza. São várias as abordagens que apontam para a revisão necessária do pensamento urbanístico predominante. Aqui trataremos apenas dos sistemas de infraestrutura urbana e sua relação com a cidade.

4 Para saber mais, leia o livro de *Aristides Almeida Rocha: Histórias do Saneamento*.

3.3 Urbanismo, planejamento e infraestrutura urbana articulados à lógica da natureza

No início do século XX surgiram as correntes de planejamento urbano voltadas à discussão das necessidades humanas e o bem-estar social – o modernismo urbano. Apoiado em inovações tecnológicas da época, sua expressão espacial resultou em verdades técnicas impostas ao longo do século. Igualmente, foram desenvolvidas correntes voltadas ao planejamento ecológico que se amparavam na ecologia urbana e na arquitetura da paisagem e apresentaram várias soluções, mas ficaram restritas a poucas localidades. Só mais tarde, porém, com os impactos ambientais negativos promovidos pelo modelo dominante de fazer cidades, é que essas correntes foram resgatadas.

As ideias da articulação cidade-natureza não são posteriores à década de 1990, ou seja, à difusão do desenvolvimento sustentável. O urbanismo e o planejamento urbano que levam em conta a natureza são, pelo menos, do fim do século XIX.

3.3.1 Os precursores da integração entre cidade e natureza

Fazendo uma retrospectiva sobre a ideia de promover o ordenamento territorial urbano levando em consideração os fatores do meio físico biótico é possível apontar uma série de contribuições conceituais e práticas oriundas de arquitetos da paisagem, urbanistas e ecólogos urbanos que podem ser apontados como percussores de muitas abordagens vigentes para solucionar os problemas atuais.

Entre eles, estão Frederick Law Olmsted (sistema de parques, fim do século XIX), Patrick Geddes (ecologia urbana, início do século XX), Ebenezer Howard (cidade jardim, 1902), Anne W. Spirn (jardim de granito, 1884) e

Ian McHarg (desenho com a natureza, 1969).

As experiências precursoras se destacaram no plano das ideias e na prática do planejamento ambiental urbano e da arquitetura da paisagem, em especial no que tange à criação de parques urbanos.

Em 1915, Patrick Geddes já destacava que o planejamento urbano deveria começar com o levantamento dos recursos naturais e das características do meio físico de uma determinada região (MENEGUETTI, 2007). A pesquisa de Geddes influenciou alguns trabalhos de planejamento que começaram a florescer nos anos 1950, como:

- A abordagem desenvolvida por Angus Hills (1961), um cientista de solo e geógrafo canadense que utilizava a capacidade biológica e física da terra para guiar as decisões de uso do solo para a agricultura, floresta, vida silvestre e recreação. Grandes áreas eram parceladas em pequenas unidades homogêneas, a partir de uma classificação fisiográfica, e poderiam, então, ser relacionadas com usos potenciais ou limitações sociais, dentro de diferentes condições de manejo impostas;

- A abordagem desenvolvida por Philip Lewis (1963), que focava em aspectos visíveis da paisagem, como forma e proporção, para, por meio de sobreposição, construir padrões ambientais. A avaliação de cada padrão é, posteriormente, realizada quanto ao seu potencial de uso e categorizada numericamente. Este sistema foi pioneiro quanto a conceitos de qualidade visual, diversidade e recursos do meio em corredores ambientais;

- A abordagem desenvolvida por Ian McHarg e Anne Spirn[5], onde o primeiro publicou sua metodologia no livro Design with Nature (1969) no qual alertava os planejadores para a importância de incorporar o conhecimento de características ecológicas e naturais entre os critérios habituais de engenharia, economia e ciências sociais ao desenvolver um plano de ocupação regional;

- Com trabalhos na escala do planejamento ou do desenho urbano, outras concepções também se destacam, como Landscape Urbanism, de Charles Waldheim.

Enquanto os primeiros desenvolveram um método cartográfico para articular os fatores do meio físico com as demandas de uso do solo urbano, até hoje utilizado em todas as inciativas de planejamento ambiental, nos demais são fartos os exemplos de elementos configuracionais da paisagem, especialmente no que tange ao sistema de espaços livres.

Dessa forma, os trabalhos de McHarg e Geddes, cada um dentro da sua linha, inspiraram o planejamento urbano e regional, sendo suas características comuns: (i) o conhecimento e a consideração das características físicas do território; (ii) a busca pela organização dessas características em forma de padrões espaciais de paisagem; (iii) a identificação de potencialidades ou limitações dos padrões espaciais de paisagem na ocupação antrópica, ou seja, a decisão sobre a função a ser atribuída em uma ação de planejamento do território.

Por sua vez, Frederick Law Olmsted contribuiu para a concepção de parques e soluções de infraestrutura de mobilidade e de drenagem. Seus projetos de arquitetura da paisagem se destacam pela criação de corredores verdes urbanos que articulam as frações urbanas e a natureza. Já o projeto emblemático de Emerald Necklace, elaborado e implantado entre 1878 e 1895 em Boston (Estados Unidos), explicita vários princípios de desenho que mais tarde seriam organizados em uma base teórica.

5 Anne Spirn, ex-aluna de Ian Mcharg, escreveu um livro de extrema importância, O Jardim de Granito (The Granite Garden), que reflete sobre a complexa relação entre as demandas humanas de desenvolvimento urbano e a capacidade de suporte do meio.

Esses princípios podem ser vistos na combinação de sistemas aquáticos e de vegetação que respondiam a problemas de transporte e de saúde pública, ao mesmo tempo em que provisionavam a sociabilidade urbana. Seria o que hoje se preconiza como espaços multifuncionais.

Em uma abordagem na qual a paisagem era pensada como infraestrutura, o projeto de Olmsted para a Back Bay desponta por ter utilizado uma área pantanosa para solucionar a regulação do ciclo hidrológico[6]. Outra contribuição relevante dele foi na constituição do *Park Movement*[7]. Com a visão que temos hoje, pode-se identificar ali soluções de drenagem urbana com promoção dos serviços ecossistêmicos e bem-estar humano por meio da definição de corredores ecológicos que aos poucos se expandem para a concepção de planejamento da paisagem como discutida na contemporaneidade.

Figura 17 – Proteção da vegetação no projeto Back Bay



Fonte: BONZI,Ramón Stock, Emerald Necklace – infraestrutura urbana projetada como paisagem, Revista LABVERDE n°9 Artigo n°06, dezembro de 2014

6 Ver os sítios de Olmsted 200 e da National Association for Olmsted Parks, e ainda: https://www.olmsted.org/the-olmsted-legacy/frederick-law-olmsted-sr

7 "A partir do Prospect Park (1866-1867) e ao longo dos trinta anos seguintes, Olmsted liderou o Movimento dos Parques nos Estados Unidos, estabelecendo as diretrizes para projetos de parques, *campi* universitários, loteamentos residenciais e de preservação de belezas naturais. Sua ideia de cidade saudável permeada de muito verde exerceu grande influência no planejamento do século XX em todo mundo" (ALEX, 2011, p. 83).

Existem muitos outros projetos interessantes de Olmsted e de outros, mas aqui, um livro sobre infraestrutura[8], o objetivo é contextualizar a relação entre a abordagem urbanística e a adoção de tecnologias de infraestrutura urbana. As técnicas tradicionais de infraestrutura urbana são coerentes com o urbanismo que passou a ser dominante enquanto as denominadas novas técnicas encontram suas raízes no urbanismo de integração cidade-natureza.

Figura 18 – Sistemas de Parques de Boston, conhecido como o Colar de Esmeraldas – The Emerald Necklace (1878-1880)



Fonte: BONZI,Ramón Stock, Emerald Necklace – infraestrutura urbana projetada como paisagem, Revista LABVERDE n°9 Artigo n°06, dezembro de 2014

3.3.2 Integração da natureza ao urbanismo e à infraestrutura urbana

Foi após a década de 1990 que as ideias discutidas no item anterior passaram a ser resgatadas e atualizadas para responder aos problemas contemporâneos. Em relação a novas soluções de infraestrutura que incorporam a lógica da natureza, as primeiras propostas que despontaram, com várias soluções, foram as que se dedicaram aos estudos sobre as alterações do ciclo hidrológico provocadas pela urbanização tradicional. O

8 Ver: TARDIN,R. *Espaços Livres: sistema e projeto territorial*. Rio de Janeiro:7Letras, 2008.

que se denominou de manejo das águas urbanas resultou em um conjunto de soluções onde se adota processos naturais para promover infiltração por meio de padrões de ocupações do solo sensíveis à água. São soluções que possuem como objetivo reduzir o impacto do volume, frequência e qualidade da drenagem, por meio de: (i) medidas de preservação do sistema natural de drenagem existente; (ii) simulação do sistema natural de infiltração nas áreas antropizadas; e (iii) proteção do solo durante processos de urbanização (ANDJELKOVIC, 2001; BROWN; KEATH; WONG, 2009; SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Nessa linha, surgiram diferentes métodos, hoje consolidados, que atuam nos padrões morfológicos de ocupação do solo, na estruturação de um sistema de áreas verdes e em elementos específicos de drenagem que em seus conjuntos integram o que se denomina urbanismo sensível à água. Algumas dessa correntes serão descritas abaixo, onde se destacam seus manuais e documentos diretivos:

- ***Low Impact Development*** **(LID)** – surgiu na década de 1980 como uma estratégia de manejo de águas urbanas desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental Americana (US-EPA – *Environmental Protection Agency*) por meio de planejamento e desenho urbano integrados a práticas de detenção, infiltração e tratamento da água em pequena escala e conservação e aproveitamento de características naturais de solo e vegetação. O objetivo principal do LID é permitir a urbanização mantendo as funções hidrológicas essenciais da área. Isso é alcançado a partir de uma série de passos complementares que começam com a mitigação de impactos a partir do projeto de ocupação da área e com a provisão de sistemas de controle distribuídos pela área urbana, com foco na origem do excesso de escoamento. Segundo Tavanti e Barbassa (2010), o desafio de planejar com LID se encontra no controle de quantidade e qualidade, por intermédio de práticas, como: recarga subterrânea; retenção ou detenção para armazenamento permanente; controle e captura de poluentes; valorização estética da propriedade; e uso múltiplo das áreas, satisfazendo, em alguns casos, normas locais por áreas verdes ou espaço com vegetação.

- ***International Hydrological Programme*** **(IHP)** – desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) que publicou, entre 2007 e 2010, uma série com sete relatórios sobre a água no ambiente urbano, chamada Urban Water Series[9]. Em 2001, a instituição já havia disponibilizado uma série de manuais técnicos sobre drenagem urbana chamados *Urban drainage in specific climates*[10] e *Guidelines on non-structural measures in urban flood management*[11]. Além do IHP, a Unesco faz parte das agências que compõe o *UN-Water*, programa da ONU que coordena o trabalho sobre água e saneamento e publica, anualmente, desde 2014, relatórios sobre o estado, gestão e uso da água mundialmente[12]. Desde 2018, o relatório do *UN-Water* passou a contar com o tema Soluções Baseadas na Natureza (SbN) como forma de gestão da água (WWAP, 2018).

9 A série sobre a água no ambiente urbano da Unesco é composta por sete relatórios que abordam os temas: (2007) processos e interações do ciclo da água urbano; (2007) dados necessários para uma gestão integrada da água urbana; (2007) gestão, ciência, política e prática para habitat aquáticos urbanos sustentáveis; (2009) gestão de riscos da água urbana; (2009) gestão integrada da água urbana em regiões áridas e semiáridas; (2010) gestão integrada da água urbana em trópicos úmidos; e (2010) simulações e modelagens avançadas para gestão da água subterrânea. Disponível em: http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001910/191066e.pdf

10 Disponível em: http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001228/122848eo.pdf

11 Disponível em: http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001240/124004e.pdf

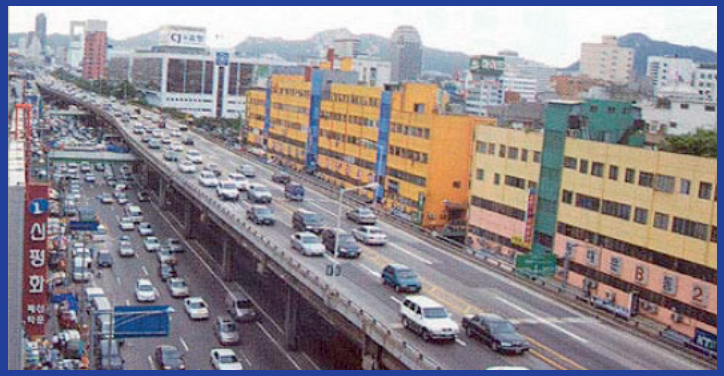
12 Os relatórios anuais abordam temas específicos sendo que desde 2014 já foram abordados os seguintes temas: (2014) água e energia; (2015) água para um mundo sustentável; (2016) água e empregos; (2017) águas residuais, um recurso à disposição; e (2018) soluções baseadas na natureza para a gestão da água. Fonte: http://www.unwater.org/publication_categories/world-water-development-report/.

- ***Water Sensitive Urban Design* (WSUD)** – procura integrar a gestão do ciclo da água ao planejamento e desenho urbano com o objetivo de imitar e proteger os sistemas naturais relacionados à água nos ambientes urbanos (KIAMA MUNICIPAL COUNCIL, 2005; MELBOURNE WATER, 2014). Essa abordagem é mais holística e procura a minimização das superfícies impermeáveis, maximização da reutilização da água, diminuição do consumo, redução do despejo de esgoto e águas de drenagem em corpos hídricos e incorporação de técnicas de detenção, infiltração e tratamento da água da chuva que simulam sistemas naturais. O WSUD ainda ressalta a oportunidade de obter espaços multifuncionais com benefícios para a população a partir da gestão sustentável da água urbana.

- ***Sustainable Drainage Systems* (SuDS)** – consiste em uma abordagem inglesa que simula os sistemas naturais e as contribuições que cada técnica pode oferecer para a manutenção da quantidade e da qualidade da água, biodiversidade e outras amenidades como lazer e estética. O foco da técnica cobre as etapas de detenção, infiltração e tratamento da água e das fases de planejamento, projeto, construção e manutenção.

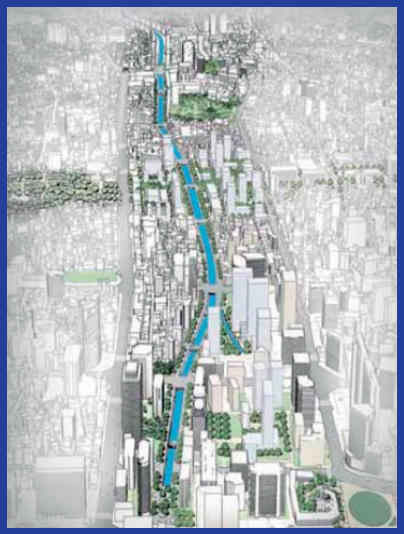
As diferentes abordagens visam à promoção de uma conexão física e ecológica entre as estruturas urbanas com o intuito de favorecer a integridade ecossistêmica e a proteção dos serviços. O tema tem ganhado grande visibilidade na literatura voltada ao urbanismo sustentável, com diversos projetos exitosos, como é o caso da renaturalização do córrego Cheonggyecheon, localizado em Seul, capital da Coreia do Sul. Destaca-se não só a implementação de novos sistemas de drenagem, mas a elaboração de planos de reconversão de sistemas tradicionais que, ao incorporarem o sistema de áreas verdes, têm conseguido cumprir com as mais diferentes necessidades das cidades prestando serviços ecossistêmicos de regulação, provisão e cultuais.

Figura 19 – Antes: via elevada para facilitar o deslocamento dos modais motorizados



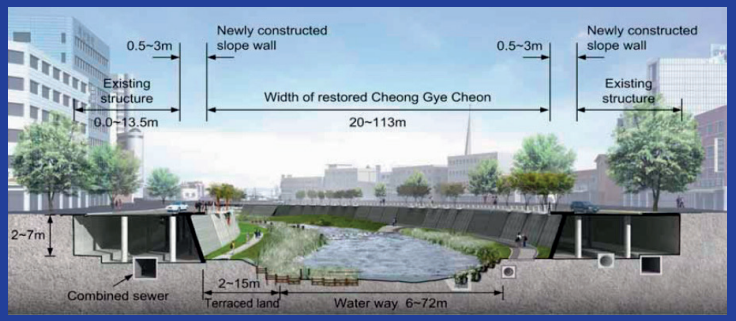
Fonte: GUILLET, Caroline et al., Restoring Nature in the Urban Fabric: The ambiguities of the Cheonggyecheon Restoration Project, 2012.6

Figura 20 – Mudança proposta na relação entre o rio e a cidade



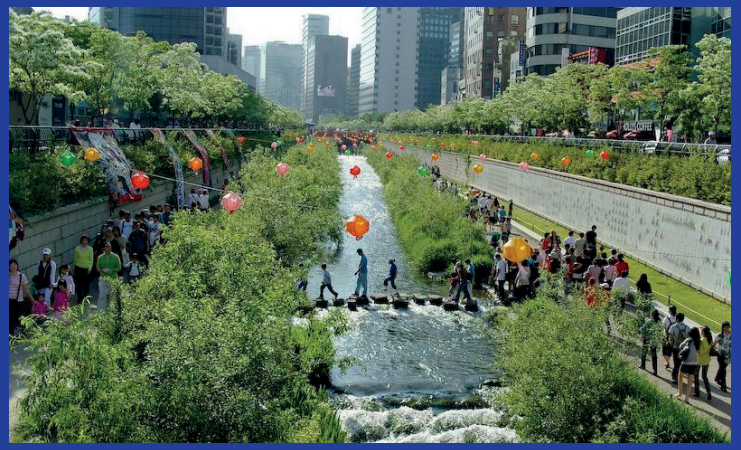
Disponível em: *https://atelie5faufba2017wordpress.com/wp-content/uploads/2017/06/revitalizac3a7c3a3o-do-rio-cheonggyecheon.pdf*

Figura 21 – Proposta de integração da infraestrutura verde e a infraestrutura existente



Disponível em: https://atelie5faufba2017.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/06/revitalizac3a7c3a3o-do-rio-cheonggyecheon.pdf

Figura 22 – Uma das imagens mais emblemáticas do projeto



Disponível em: https://atelie5faufba2017.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/06/revitalizac3a7c3a3o-do-rio-cheonggyecheon.pdf

Mais recentemente, a partir dos anos 1990, várias outras abordagens interdisciplinares relacionadas aos ecossistemas urbanos, visando ao aumento da resiliência

intuito de dar concretude ao discurso da sustentabilidade ambiental urbana. De forma sintética, pode-se elencar a Infraestrutura Verde (BONZI, 2017; MENEGUETTI, 2017; FIREHOCK; WALKER, 2019, JACK AHERN 2007), a Infraestrutura da Paisagem (BÉLANGER, 2017), o Urbanismo da Paisagem (WALDHEIM, 2016), a Ecologia da Restauração (HOBBS; HARRIS, 2001; HOBBS, 2007), e as Soluções Baseadas na Natureza (SCOTT et al., 2016).

3.4 Contribuição da infraestrutura verde e das soluções baseadas na natureza para a reconvenção da infraestrutura urbana cinza

A infraestrutura verde e as soluções baseadas na natureza se destacam por serem os conceitos mais difundidos. Na verdade, existe interconexão entre as várias abordagens, apesar de cada uma possuir maior ênfase em aspectos diferentes da cidade ambas visam, tornar a cidade mais conectada à natureza ou promover sua renaturalização. O propósito é alterar o metabolismo linear e aumentar a resiliência perdida com a desconexão entre ambiente natural e construído, ocorrida na primeira metade do século XX.

De modo geral, essas abordagens possuem princípios norteadores semelhantes, sendo frequente aqueles que visam promover intervenções urbanas que integrem as dimensões ecológica e social com espaços que possuem, entre outras características: multi-escalaridade, interdisciplinaridade, multifuncionalidade, conectividade e participação social.

3.4.1 As Soluções Baseadas Natureza (SbN)

Em 2013, a Comissão Europeia (CE), com o intuito de trazer a natureza de volta às cidades a partir de projetos

de demonstração em larga escala, se vale do conceito de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) para ancorar seus programas de ações, para incentivar os estados-membros a promoverem a renaturalização das cidades e, assim, enfrentar problemas contemporâneos como as mudanças climáticas e o combate a doenças não transmissíveis (isso é importante, pois, no início do século XIX, se visava as doenças transmissíveis, como verminoses e disenteria, já resolvidas nos países desenvolvidos e que hoje estão focados em questões como obesidade e doenças mentais).

Mas, de onde surgiu essa concepção? Em 2009, a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN)[13] havia apresentado o conceito de Soluções Baseadas na Natureza para se referir às ações para proteger, gerenciar e restaurar ecossistemas naturais ou modificados com o objetivo de enfrentar os desafios sociais, de forma eficaz e adaptativa, fornecendo, simultaneamente, bem-estar humano e benefícios da biodiversidade.

Para Cohem-Shacham *et al.* (2016), o termo SbN é usado de inúmeras outras maneiras. Por exemplo, enquanto a UICN enfatiza soluções de bom manejo para os ecossistemas, ou sua restauração (uma visão preservacionista em essência), a Comissão Europeia enfatiza a aplicação de soluções que não apenas usam a natureza, mas também que se inspiram na lógica da natureza.

É daí que hoje se tem a difusão das SbN como uma abordagem mais ampla, que envolve as demais inciativas e visa promover a resiliência urbana a partir de diferentes enfoques, o que a aproxima da infraestrutura verde, por exemplo. Tanto é que, a partir de referências conceituais de diferentes autores, tem-se definições semelhantes para os princípios que norteiam as SbN e a infraestrutura verde.

13 A IUCN dríada em 1964 é uma associação global que reúne governos e organizações da sociedade civil para proteger a natureza. A IUCN é a maior união ambiental do mundo com mais de 1.400 organizações membros e mais de 17.000 especialistas e é considerada a autoridade global sobre o estado de conservação do planeta.

Algumas definições que percorrem as duas abordagens:

I. Redes interconectadas de espaços verdes e naturais que conservam os valores e as funções dos ecossistemas, proporcionando benefícios à população local (FERNANDES, 2022; GUIMARÃES, 2018; CAICHE, 2021);

II. Soluções que envolvem intervenções de baixo impacto ecológico e alto desempenho, seguindo princípios como o uso de paisagens multifuncionais, flexibilidade e conectividade dos sistemas (GUIMARÃES, 2018; HERZOG, 2010); e,

III. Soluções que possuem benefícios dos aspectos ecológicos, dos fatores sociais (como bem-estar), da erradicação da pobreza, do desenvolvimento socioeconômico e da governança (EGGERMONT et al., 2015, apud PEREIRA, 2021).

3.4.2 Sobre a Infraestrutura Verde

O termo infraestrutura verde foi cunhado pela Comissão de Corredores Verdes da Flórida, em 1994. Na ocasião, foi apresentado um plano de intervenções para infraestruturas urbanas que revisava as soluções tradicionais e procurava uma integração entre o sistema de áreas verdes e os típicos problemas de alagamentos e inundações que assolavam várias áreas da Flórida, um território de pântanos.

Assim, a infraestrutura verde foi definida como uma rede interconectada de espaços verdes e naturais que conservam os valores e as funções dos ecossistemas, proporcionando benefícios à população local. Foi caracterizada como de baixo impacto ecológico e alto desempenho, seguindo princípios como o uso de

paisagens multifuncionais, flexibilidade e conectividade dos sistemas (GUIMARÃES, 2018; HERZOG, 2010).

Figura 23 – Publicações sobre Infraestrutura Verde



Fonte: Labpaisagem/FAUUNB, autora e Camila Santana, 2024.

As estratégias comumente citadas para implementar a infraestrutura verde incluem unidades de conservação, corredores verdes, florestas urbanas e arborização urbana. O objetivo é gerar o aumento da conectividade entre manchas íntegras da paisagem, a criação de áreas para convivência, a melhoria na drenagem urbana e a promoção da agricultura urbana. Em sua maioria, as estratégias que tratam de SbN se valem de soluções que não necessariamente utilizam elementos da natureza, mas que procuram simular o que a natureza produz – como é o caso do uso de piso permeável que simula a infiltração própria da natureza.

Nas palavras de Benedict e McMahon, 2006, pesquisadores que são referência no tema da infraestrutura verde:

> "A associação do termo infraestrutura verde visava enfatizar o diferencial da proposta frente às práticas ambientais conservacionistas mais tradicionais e rever a percepção popular difundida sobre o planejamento das áreas verdes e sua consequente conservação. A intenção era superar o entendimento de que as áreas verdes devem existir, pois são agradáveis ao invés de necessárias e, por isso, devem ser planejadas e protegidas. Outra mudança de paradigma seria incorporar uma visão sistêmica no planejamento das áreas verdes que são recorrentemente vistas de forma isolada, privilegiando a conectividade entre as unidades de conservação e os espaços abertos, garantindo os benefícios ecológicos que eles provêm às pessoas e ao meio ambiente" (BENEDICT; MCMAHON, 2006).

A especificidade do conceito de infraestrutura verde estaria na diferença que possui com a abordagem do planejamento tradicional, da infraestrutura urbana e dos espaços livres. Ele visa soluções integradas onde se preservam a paisagem e garantem o atendimento das demandas socioeconômicas – originalmente, função das abordagens que solucionavam os problemas das cidades de forma isolada, do sistema de áreas verdes, da infraestrutura ou dos espaços de lazer, por exemplo. Advoga, ainda, que a abordagem pode ser utilizada nas diferentes escalas do planejamento urbano: de frações urbanas a áreas rurais e naturais.

Em síntese, dentro da pluralidade de visões atribuídas à infraestrutura verde, pode-se destacar:

I. A promoção dos serviços ecossistêmicos urbanos, principalmente na promoção da manutenção do ciclo da água nas cidades por meio de sistemas de

drenagem sustentáveis[14] (MOURA; PELLEGRINO, 2017; VASCONCELLOS, 2015; HERZOG, 2013; ROUSE *ET AL.*, 2013; MELL, 2010; AHERN, 2007; BENEDICT; MCMAHON, 2006);

II. A promoção de mobilidade e conexão física e ecológica com o uso de estruturas urbanas verdes, mais conhecidas como corredores verdes – green spaces (NEWNAM ET AL., 2017; DOVER, 2015; MELL, 2010; NEWNAM *ET AL.*, 2009);

III. A promoção de estruturas urbanas com resiliência ecológica às mudanças climáticas (BREARS, 2018; SUSSAMS ET AL., 2015; GINGER, 2016; NEWNAM *ET AL.*, 2009);

IV. A promoção da aproximação entre homem e natureza garantindo a saúde pública e se afirmando como uma estratégia biofílica (BEATLEY, 2017; NEWNAM *ET AL.*, 2017);

V. A promoção da biodiversidade ao mesmo tempo em que articula as relações entre as áreas urbanas e rurais (DOVER, 2015; SUSSAMS *ET AL.*, 2015; AUSTIN, 2014; MELL, 2010).

Na Figura 24 encontram-se duas opções de projeto urbano para uma mesma área. Na opção B procura-se, ao mesmo tempo, garantir a preservação das condicionantes do sítio e proporcionar soluções de drenagem, seja com as águas escoando para os cursos d'água próximos ao parcelamento seja por infiltração nas áreas verdes dispostas de forma intercalada à estrutura urbana.

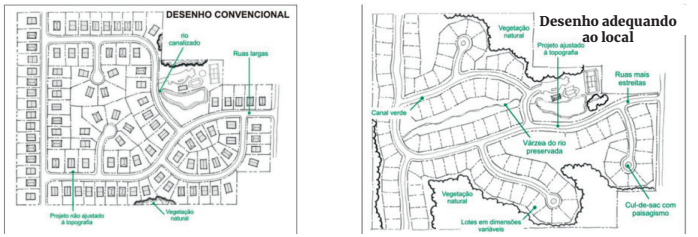
As múltiplas atuações a que a infraestrutura verde se propõe tanto a aproxima da concepção generalista das

14 SuDS é um sistema de drenagem baseado nos princípios do equilíbrio do ciclo da água que visa promover estratégias de drenagem com o mínimo impacto possível.

SbN como recupera as diferentes abordagens anteriores à sua conceituação, como: os *greenways* (final século XVIII); a cidade jardim – *city garden* (século XVIII); os cinturões-verdes – *green belts*; as franjas urbanas – *urban fringes* (século XVIII); os corredores verdes – *green corridors* (século XX); a ecologia da paisagem – *landscape ecology* (século XX); a inclusão social – *social inclusion* (século XX). Contudo, ela também trata de temas contemporâneos, como sustentabilidade urbana – *urban sustainability* (século XX); cidade esponja[15]– *sponge city* (século XX); eco-city (século XX); e toda a produção associada às soluções baseadas na natureza (SbN) – *nature base solutions* (século XXI).

Figura 24 – Comparação entre um desenho convencional de parcelamento (opção A) e um plano inovador desenvolvido a partir das melhores práticas (opção B)

Opção A **Opção B**



Fonte: HINMAN, Curtis. Low Impact Development Technical Guidance Manual for Puget Sound. . [S.l: s.n.], 2012.

Como visto, a solução para uma adequada tecnologia de infraestrutura para promover a sustentabilidade ambiental urbana será a sua articulação com o planejamento urbano e o urbanismo. Será sobre essa perspectiva que os próximos capítulos tratarão: as relações

15 O conceito ampliado de tecnologia é discutido em *Tecnologias Apropriadas para Saneamento Básico*, de Fernando Tudela, São Paulo, FAUUSP, 1982.

da infraestrutura com o Plano Diretor e a discussão sobre cada um dos subsistemas de infraestrutura, sempre analisando a solução adequada às formas de ocupação da cidade.

Referências – Capítulo 3

ACSELRAD, Henri. Discursos da Sustentabilidade Urbana. In: Anais do VIII Encontro Nacional da ANPUR, Décio Rigatti (org.), PROPUR, UFRS, Porto Alegre, 2001.

AHERN, J. *Green infrastructure for cities: the spatial dimension.* In: NOVOTNY, V. (ed.). *Cities of the future: towards integrated sustainable water and landscape management.* London: IWA Publications, 2007.

AHERN, J.; CILLIERS, S.; NIEMELA, J. *The concept of ecosystem services in adaptative urban planning and design: a framework for supporting innovation. Landscape and Urban Planning*, 2014.

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

AUSTIN, G. *Green infrastructure for landscape planning: integrating human and natural systems.* New York: Routledge, 2014.

BEATLEY, T. *Green urbanism: learning from European cities.* Washington, DC*: Island Press*, 2000.

BÉLANGER, P. *Landscape as infrastructure.* New York: Routledge, 2017.

BENEDICT, M.; MCMAHON, E. *Green infrastructure: linking landscapes and communities.* Washington, DC: Publisher, 2006.

BONZI, R. S. Paisagem como infraestrutura. In: PELLEGRINO, P.; MOURA, N. B. (ed.). Estratégias para uma infraestrutura verde. Barueri: Manole, 2017.

BREARS, R. *Blue and Green Cities: the role of blue - green infrastructure in managing urban water resources.* London: Palgrave Macmillan UK, 2018.

BROWN, R. R.; KEATH, N.; WONG, T. H F. *Urban water management in cities: historical, current and future regimes. Water Science and Technology*, v. 59, n. 5, 2009.

CAICHE, D. T.; PERES, R. B.; SCHENK, L. B. M. Floresta urbana, soluções baseadas na natureza e paisagem: planejamento e projeto na cidade de São Carlos (SP). Revista LABVERDE, São Paulo, v. 11, n. 1, 2021.

COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. (eds.). *Nature-based Solutions to address global societal challenges.* Gland, Switzerland: IUCN, 2016.

DOVER, John W. *Green infrastructure: incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments.* New York: Routledge, 2015.

EGGERMONT, H. et al. *Nature-based solutions: new influence for environmental management and research in Europe.* GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society, 2015.

FERNANDES, C. F.; CÉSAR, L. P. de M.; SANT'ANNA, C. G. Cerrado Resiliente: planejando a paisagem com Soluções Baseadas na Natureza (SbN). Revista LABVERDE, São Paulo, n. 12, 2022.

FIREHOCK, K.; WALKER, R. A. *Green infrastructure: map and plan the natural world with GIS.* Redlands: Esri Press, 2019.

GUIMARÃES, L. F. et al. O uso de infraestruturas verde e azul na revitalização urbana e na melhoria do manejo das águas pluviais. Paisagem ambiente: ensaios, n. 42, 2018.

HERZOG, C. Cidades para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza. Rio de Janeiro: MAUAD X e Inverde, 2013.

HERZOG, C. P. Infraestrutura verde e resiliência no paisagismo. Revista LABVERDE, São Paulo, n. 1, 2010.

HOBBS, R. J. *Setting effective and realistic restoration goals: key directions for research. Restoration Ecology*, v. 15, i. 2, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00225.x. Acesso em: 22 abr. 2024.

HOBBS, R. J.; HARRIS, R. J. *Restoration ecology: repairing the Earth's ecosystems in the new millennium. Restoration Ecology,* v. 9, n. 2, 2001.

KENNEDY, C.; PINCETL, S; BUNIE, P. *The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. Environmental Pollution,* 2010.

LEWIS, Philip Howard. *Study of recreation and open space in Illinois. Department of City Planning and Landscape Architecture and the Bureau of Community Planning*, University of Illinois, 1961.

MAKSIMOVIC, Cedo. *General overview of urban drainage principles and practice*. In: TUCCI, Carlos E. M. *Urban drainage specific climates: urban drainage in humid tropics*. UNESCO. IHP-V. Technical Documents in Hydrology, Paris, v. 1, n. 40, 2001.

MEL, I. *Green infrastructure: concepts, perceptions and its use in spatial planning*. Liverpool, 2010. Unpublished PhD Thesis, University of Newcastle.

MENEGUETTI, K. S. Antes da infraestrutura verde: o plano de Maringá. In: PELLEGRINO, P.; MOURA, N. B. (org.). Estratégias para uma infraestrutura verde. Barueri: Manole, 2017.

NEWMAN, Peter et al. *Resilient cities: overcoming fossil fuel dependence.* Washington: Island Press, 2017.

PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita; MOURA, Newton Célio Becker de. Estratégias para uma infraestrutura verde. [S.l: s.n.], 2017.

PEREIRA, Maria Cristina Santana; GOBATTI, Lucas; SOARES, Mariana Corrêa; LEITE, Brenda Chaves Coelho; MARTINS, José Rodolfo Scarati. Soluções baseadas na natureza: quadro da ocupação da cidade de São Paulo por células de biorretenção. Revista LABVERDE, São Paulo, v. 11, n. 1, 2021. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/

revistalabverde/article/view/189292. Acesso em: 22 abr. 2024.

ROCHA, Aristides Almeida. Histórias do Saneamento. São Paulo: Editora Bulcher, 2016.

ROGERS, R.; GUMUCHDJIAN, P. Cidades para um pequeno planeta. 1. ed. São Paulo: Gustavo Gili, 2014.

ROUSE, D.; BUNSTER-OSSA, I. *Green infrastructure: a landscape approach*. Chicago: APA Planners Press, 2013.

SCOTT, M. et al. *Nature-based solutions for the contemporary city. Planning Theory & Practice*, v. 17, n. 2, 2016. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14649357.2016.1158907. Acesso em: 22 abr. 2024.

SOUZA, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 2, 2012.

SPIRN, A. O Jardim de Granito. São Paulo: Edusp, 1995.

SUSSAMS, L.; SHEATE, W.; EALES, R. *Green Infrastructure as a climate change adaptation policy intervention: muddying the waters or clearing a path to more secure future. Journal of Environmental Management*, n. 147, 2015.

TAVANTI, Debora Riva; BARBASSA, Ademir Paceli. Análise dos Desenvolvimentos Urbanos de Baixo Impacto e Convencional. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 4, 2012.

TUDELA, Fernando. Tecnologias apropriadas para saneamento básico. São Paulo: FAUUSP, 1982.

VASCONCELLOS, Andrea A de. Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana. Curitiba: Appris, 2015.

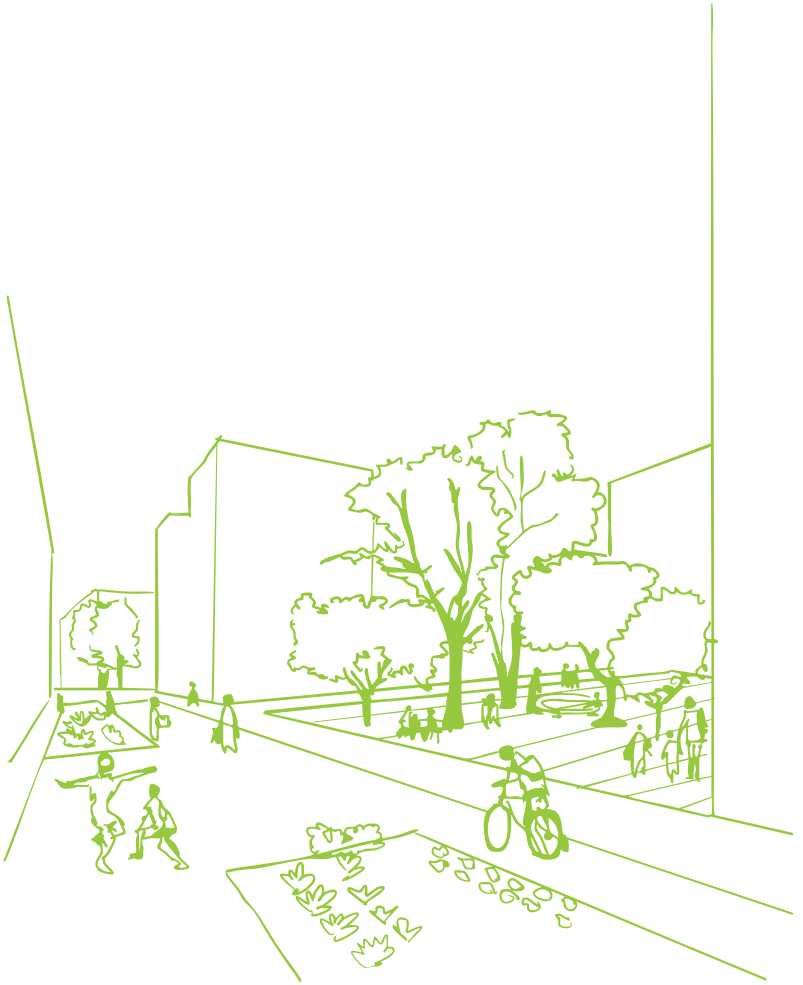
WALDHEIM, C. *Landscape as urbanism: a general theory. New Jersey*: Princeton University Press, 2016.

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

WOLMAN, *The Metabolism of Cities. Scientific American*, 1965.

WU, Jianguo. *Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. Landscape and Urban Planning,* v. 125, 2014. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204614000322>. Acesso em: 22 abr. 2024.

WWAP *(United Nations World Water Assessment Programme). The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water.* Paris, France: [s.n.], 2018.



4

Plano Diretor: Os padrões urbanísticos e suas relações com a Infraestrutura



É bastante comum se pensar que a dramática situação em que estão as cidades brasileiras é uma decorrência natural do fato de o país ter mais de 80% da sua população morando nas cidades, especialmente diante do déficit de infraestrutura, com moradias precárias e ocupações em áreas de fragilidade ambiental, associadas às desigualdades socioeconômicas. É como se as favelas, os alagamentos, os desmoronamentos e a ausência de saneamento fossem características intrínsecas às grandes áreas urbanas, justificando a ineficiência do poder público em promover cidades que propiciem qualidade de vida e ambiental para a população.

Os graves desequilíbrios sociais que caracterizam as cidades no Brasil – assim como outras metrópoles de urbanização desigual pelo mundo – resultam do nosso histórico modelo de desenvolvimento econômico que se soma à ausência de planejamento e investimentos nas áreas urbanas no momento em que essas ganhavam relevância na demografia do país. Nessas condições, o rápido processo de urbanização brasileira, ocorrido a partir da década de 1940, levou ao crescimento de cidades que, hoje, nos impõem um passivo de muitas áreas urbanas periféricas, insalubres e de alto risco social e ambiental.

É importante destacar que, além da falta de prioridade política, não existiam normas regulatórias sobre o ordenamento territorial e as prefeituras não contavam com técnicos qualificados para o exercício do planejamento e da gestão urbana, fato mais grave na década de 1970. Mas, atualmente, o que preveem as normas de expansão urbana ou de intervenções dentro das áreas urbanas já consolidadas?

O objetivo das normas, seja de ordem urbanística ou ambiental, é promover uma cidade segura, salubre e capaz de possibilitar às pessoas o desenvolvimento das suas atividades, desfrutarem da natureza e do convívio social. A realidade mostra que só a existência das normas não garante esses direitos, são necessárias mudanças no quadro político. Nesse contexto, o conhecimento técnico possui papel fundamental para que haja uma referência de urbanidade a ser alcançada, pois muitas decisões acabam sendo tomadas por técnicos que precisam saber como agir de forma adequada ao tamanho do problema.

Tendo em conta esse entendimento, passa-se a apresentar as bases normativas do planejamento urbano e seus instrumentos urbanísticos para discutir suas relações com as lógicas de funcionamento das infraestruturas. É de conhecimento geral que o Estatuto da Cidade e o Plano Diretor são importantes instrumentos atuais de gestão urbana. Agora, vamos retroceder para entender de onde surgiu a ideia de criar instrumentos regulatórios para a ocupação urbana e, depois, iremos discorrer sobre a base legal que os define.

4.1 O que são instrumentos urbanísticos e de onde surgiram?

Porque foram criados instrumentos urbanísticos para regular, por exemplo, o tamanho de lotes e a altura de edificações, e a obrigatoriedade de implantar infraestruturas urbanas?

No início do século XX, com a ideia de um Estado Keynesiano[1], o poder público se coloca como mediador entre os interesses econômicos dos empreendedores e as necessidades dos trabalhadores, de modo a garantir alguns direitos a esta população, como: acesso à educação, à saúde, direitos trabalhistas, moradia e salubridade das cidades. Antes, já tinham ocorrido vários movimentos de melhoria da salubridade das cidades, que haviam se tornado foco de muitas doenças, como vimos no capítulo 1. Essas melhorias se referiam a implantar formas de retirada dos dejetos das cidades e algumas regras para a construção de habitações que garantissem a iluminação e a ventilação do ambiente. Contudo, pouco se havia avançado em normas gerais para os espaços públicos.

Foi a partir da ideia do poder público como mediador do "bem comum" que surgiram ideias como a promoção de habitação de interesse social, a preservação de espaços de lazer dentro das cidades e várias outras regulações que hoje são comuns. Nos países de economia periféricas, esses regulamentos chegam com atraso, quando as cidades já possuem grandes inequidades instaladas no acesso a esses serviços. Esse contexto é denominado de urbanização desigual – quando os benefícios da urbanidade só serão encontrados na parte da cidade onde moram os mais ricos. Por forte influência da elite nas políticas públicas, os recursos escassos do poder público só são alocados nas mesmas áreas privilegiadas, tornando as mudanças difíceis.

Os instrumentos urbanísticos criados na Europa do pós-guerra só surgem no Brasil tardiamente, e como tentativa de reação face à cidade já instalada, de modo

1 O Estado Keynesiano é uma teoria econômica que defende a intervenção do Estado na economia para garantir o crescimento econômico e evitar crises, desemprego e inflação. A teoria Keynesiana é considerada uma revisão da teoria liberal, a qual John Maynard Keynes (1883-1946) dizia não possuir mecanismos para atuar em investimentos em áreas negligenciadas pelas empresas privadas ou para atender necessidades sociais dos trabalhadores e/ou serviços públicos.

desigual, limitando completamente o potencial desses instrumentos de promoverem o ordenamento territorial.

Como o assunto é denso e com muita bibliografia, se faz aqui uma síntese para dar uma explicação necessária para entender os déficits de infraestrutura apontados no capítulo 1 e encaminhar os possíveis rumos de mudanças a partir do Plano Diretor que, com normas específicas, tenta reverter o quadro de inequidades das cidades[2].

Será que estabelecer normas sempre levará à promoção do "bem comum"? Com o Plano Diretor, o Estado adquiriu um poder regulador significativo sobre o uso e a ocupação do solo, com instrumentos de ordem jurídica para determinar normas que impunham padrões de uso e ocupação, ato de fiscalizar e arrecadar e muitos outros definidos por lei ou normas administrativas. Essas normas ditaram os padrões urbanísticos, edilícios e de infraestrutura e resultaram em um ideário que passou a ser seguido por todas as cidades que almejavam espaços planejados.

Mas, as mesmas normas são aplicáveis a todos os lugares? Da mesma forma que se discutiu, no capítulo 2, a adequação tecnológica à socioeconomia e aos condicionantes do meio ambiente, deve-se entender que o mesmo pode ocorrer com as normas urbanísticas.

Contudo, o que se verifica é que as normas estão descoladas da realidade, o que faz com que não sejam cumpridas, pois é difícil fazer valer suas prescrições. Nesse sentido, os regulamentos são burlados pelo interesse econômico que atua na construção das cidades, bem como pela população. Então, é importante conhecer as normas para usá-las em apoio à construção de uma cidade que seja adequada à cultura, à socioeconomia e ao sítio físico de cada localidade. Não existe um modelo universal de cidade a ser prescrito.

2 Ver: *Regulação Urbana – 2024*, de Marcos Alcino de Azevedo Torres, Maurício Jorge Pereira da Mota e Emerson Affonso da Costa Moura, Editora: Lumen Juris.

Box 1 – Sobre política urbana e o padrão morfológico

O ordenamento territorial é a aplicação de regulamentos na organização física do espaço da cidade. É um pouco menos do que o desenvolvimento urbano, onde se estaria também regulando outras políticas públicas, como as de acesso à educação, à saúde, à segurança etc. Ao conjunto pode-se chamar de política urbana.

O padrão morfológico é um arranjo de índices urbanísticos (tamanho de lotes, afastamentos das edificações lindeiras, altura das edificações, potencial constritivo etc.) semelhantes e adotados em uma fração urbana que resultam em um conjunto semelhante e estabelecem o padrão.

De início, a criação de instrumentos e índices urbanísticos visava responder aos problemas das cidades industriais que sofriam com a mistura de atividades incompatíveis e com edificações que não possuíam condições mínimas de conforto ambiental, tornando as cidades insalubres e doentes.

A lógica dos índices pode ser adotada para diferentes objetivos, a depender do parâmetro utilizado (promover separação de atividades ou sua junção; aumentar densidades ou diminuir etc.) e, assim, criar padrões morfológicas de uma cidade dispersa ou compacta ou com os diferentes padrões – a depender das condições socioeconômicas e ambientais das diferentes frações urbanas. Os instrumentos mais utilizados para promover o ordenamento territorial têm sido:

- definição do perímetro urbano;
- definição do zoneamento de uso e ocupação do solo;
- definição de densidades; e,
- definição das normas de parcelamento do solo.

Por sua vez, os índices que se aplicam às zonas urbanas, e para os quais se estabelecem parâmetros que resultam nos padrões morfológicos, são os que se encontram no quadro a seguir.

Quadro 1 – Principais índices urbanísticos

Taxa de Ocupação (TO)	É a relação entre a área da projeção horizontal da edificação e a área total do lote ou gleba.
Área Construída (AC)	Ou área edificada, consiste na soma das áreas de todos os pavimentos de uma edificação.
Coeficiente de Aproveitamento (CA)	Ou índice de aproveitamento do terreno, é a relação entre a área construída total (AC) e a área total do lote ou gleba (AT).
Gabaritos	Expressão em número de pavimentos ou metros da altura máxima permitida para as edificações de uma determinada zona; ventilação.
Afastamentos	São recursos obrigatórios em relação às divisas do lote, afastamentos laterais e de fundos, em relação ao logradouro público, afastamento frontal, e entre edificações no mesmo lote; permitem condições mínimas aceitáveis em relação à ventilação, iluminação e privacidade.
Taxa de Permeabilidade	Consiste na relação entre a parte do terreno que permite infiltração da água: superfície permeável x área total do terreno.
Índice de Áreas Verdes (IAV)	É a relação entre a parcela do terreno coberta por vegetação e a área total do terreno.

4.2 Os Planos Diretores antes e depois da Constituição de 1988

Conhecidos os instrumentos urbanísticos que regulam a ocupação do solo, é hora de entender como eles passaram a ser ordenadores da cidade como um todo, ou seja, conformando os padrões urbanísticos. Esse fenômeno foi definido pela Lei 10.257/2001, que estabeleceu o Plano Diretor.

O surgimento do Plano Diretor daria para escrever um livro, e existem vários[3]. Ele é resultado de um longo histórico de projetos urbanos para dotar as cidades de salubridade e embelezamento e de ações de planejamento urbano, com edições de Planos Diretores que definem diretrizes para orientar o crescimento da cidade.

O Plano Diretor não é um instrumento novo, que surgiu após o Estatuto da Cidade, nos anos 2001. Ao contrário, como se verá adiante, apesar do mesmo nome, o Plano Diretor evoluiu e hoje possui escopo e metodologia bem diferentes de quando surgiu no Brasil, na década de 1930[4].

As primeiras intervenções urbanas de melhoria dos espaços urbanos no país[5] seguiram a experiência europeia do século XIX, que apregoavam modelos estéticos e de salubridade com alargamento de vias, erradicação de ocupações de baixa renda nas áreas mais centrais, implementação de infraestrutura de saneamento com ajardinamento de parques e praças nas áreas das populações mais ricas das cidades. Eram projetos de renovação urbana e não de planejamento urbano.

Na década de 1960 mais cidades do país passaram a adotar não mais projetos urbanos, mas Plano Diretores. A elaboração desses Planos passa a adotar técnicas

3 FELDMANN, Sarah. *Urbanismo e Planejamento Urbano no Brasil nos anos de 1960, 70 e 80: permanências, inflexões e rupturas*. Palestra no Seminário 230 anos de Campinas. Campinas, Disponível em Acesso: 29/09/2016.; LEME, Maria Cristina da Silva (org.). A formação do pensamento urbanístico no Brasil: 1895-1965. Salvador: EDUFBA, 2005.

4 O primeiro Plano Diretor do Brasil foi o Plano Agache, criado em 1930, elaborado pelo francês Alfredo Agache para o Rio de Janeiro. Ele foi pioneiro e influenciou outros Planos Diretores ao longo do século XX.

5 VILLAÇA e LEME (1999).

de zoneamento, com prescrição de um conjunto de instrumentos urbanísticos, índices e seus parâmetros para cada zona da cidade. Esses planos de caráter morfológico possuíam foco na expansão urbana e, também, prescreviam o que poderia ser realizado na cidade já consolidada, quando se procedessem novas edificações. Como mencionado, procuravam definir um padrão morfológico idealizado para as cidades, ou seja: organizar as atividades e as formas de ocupação do solo dentro de modelos prescritos pelo planejamento no nível internacional.

Apesar de a salubridade urbana estar presente nos discursos desses planos, eles não possuíam instrumentos que garantissem a implantação da infraestrutura, sendo a partir desse período que as cidades mais cresceram, e sem infraestrutura de saneamento. Outra característica das cidades era a não articulação com as demais políticas públicas que promovem o desenvolvimento, como economia urbana e os programas habitacionais para baixa renda, por exemplo.

Dessa forma, os Planos possuíam poucas respostas aos problemas reais enfrentados pelas populações que chegavam à cidade e que, sem alternativas, começam a ocupar, de forma irregular, as áreas periféricas e de sensibilidade ambiental para a instalação de suas moradias.

Outra característica dos Planos Diretores desse período é que não eram obrigatórios para as municipalidades e, por isso mesmo, se encontravam descolados do ciclo de políticas públicas, não sendo atrelados a orçamentos municipais ou à participação popular.

Contudo, pode-se dizer que estava internalizado o entendimento de que as intervenções de infraestrutura, por exemplo, deveriam ficar a cargo de investimentos do poder público local, pois se entendia que não eram de responsabilidade dos empreendedores urbanos.

Essas são algumas das críticas[6] mais difundidas sobre as experiências precursoras de planejamento no país, e que resultaram no descrédito por parte da população sobre a relevância do planejamento. Esse cenário vai iniciar sua reversão somente após a Constituição de 1988.

No quadro a seguir é apresentada a síntese de algumas fases dos modelos de planejamento. O objetivo é mais estimular novas leituras do que esgotar o tema, que é rico de informação.

Quadro 2 – Evolução das abordagens de planejamento e das regulações urbanas e as principais fases

1ª Fase: Projeto urbano na esfera de ação local	-Abordagem "clássica francesa" de planejamento de cidades; -Alargamento e abertura de ruas, desenho urbano de "Haussman"; -Construção de praças, parques e *boulevards*, "embelezamento" de cidades; -Planos Diretores com ênfase no desenho de ruas e melhoria de bairros residenciais.
2ª Fase: Ordenamento territorial na esfera local e planejamento de políticas públicas urbanas estaduais ou federal	-Planejamento urbano tradicional inspirado nas ideias do modernismo; -Zoneamento urbano de acordo com as atividades urbanas; -Planos rodoviários; -Planos sanitaristas.
3ª Fase: Ordenamento territorial no nível local	-Regulação do uso e do parcelamento do solo; -Zoneamento do uso do solo; -Ocupação do solo e licença para construção; -Legislação padrão para o parcelamento do solo/layout de ruas e de equipamento urbano e transferência de bens públicos; -Definição dos perímetros urbanos; -Leis de proteção ambiental; -Punição pelo parcelamento irregular do solo.
4ª Fase: Planejamento urbano local com participação popular e foco na sustentabilidade	-Crítica ao planejamento urbano tradicional e redesenho do Plano Diretor como instrumento e direcionamento da polícia urbana; -Simplificação, preservação ambiental e adaptação dos processos de planejamento à realidade.

Fonte: Adaptação à realidade brasileira feita pela autora a partir do quadro de Enhancing the Management of Metropolitan Living Enviroments , UM-HABITAT, 2024

6 CLARK, Giles. *Re-appraising the Urban Planning Process as an Instrument of Sustainable Urban Development and Management*. Nairobi, Habitat, 3-7 outubro, 1994.

A reflexão sobre as origens das experiências de planejamento é importante para o melhor entendimento do que prevê o Plano Diretor hoje, que possui seu escopo moldado a partir do que funcionou, ou não, nessa experiência pregressa. Existe, também, a necessidade de respostas para as novas questões colocadas na contemporaneidade, como a participação popular e a cidade ambientalmente sustentável. Nesse sentido, o primeiro aspecto modificado foi envolver a população e romper o modelo ideal de cidades propagada pelas correntes tradicionais de planejamento urbano, adequando-as às condições socioeconômicas e ambientais de seu território.

4.4 A Política Urbana na Constituição Federal de 1988: Estatuto da Cidade e Plano Diretor

A Constituição Federal de 1988, em seus artigos 182 e 183, que tratam da política urbana, define que todo município com mais de 20.000 habitantes deve elaborar um Plano Diretor. Embora seja um instrumento urbanístico conhecido no meio técnico, adquiriu caráter de novidade para a população por ter sido amplamente divulgado juntamente com a abandonada ideia de gestão urbana. Muitas expectativas foram criadas para que dessem soluções aos graves problemas das cidades. Como decorrência da Constituição Federal, foi ainda promulgada a Lei Federal nº 10.257/2001, que trata da Política Urbana, documento chamado de Estatuto da Cidade, que regulamentou os artigos constitucionais, definindo diretrizes, instrumentos e prazos legais para elaborar o Plano Diretor.

O Estatuto é composto por 16 diretrizes gerais que visam orientar os municípios na implementação dos princípios constitucionais da função social da cidade e da propriedade urbana. O Plano Diretor é o principal instrumento da Política Municipal, onde constam os instrumentos a serem aplicados ao município para solução das mais diferentes ações de ordenamento territorial. O que não está previsto nele não é passível de ser realizado, devendo haver coerência entre o que foi identificado como problema e os instrumentos regulatórios recomendados para que se alcance o objetivo. Assim, o Plano Diretor orienta os agentes públicos e privados a investirem para o alcance da cidade desejada por determinada comunidade.

Para Hely Lopes Meireles[7], o Plano Diretor é "o complexo de normas legais e diretrizes técnicas para o desenvolvimento global e constante do município sob o aspecto físico, social, econômico e administrativo, desejado pela comunidade local". Para isso, as principais temáticas urbanas são necessariamente incorporadas às suas propostas, constituindo um documento bastante abrangente.

Deve ficar claro que o Estatuto da Cidade não se aplica a um determinado município, trata-se de uma lei federal que aponta diretrizes gerais de política urbana e define vários instrumentos possíveis de serem utilizados para solução de diferentes problemas urbanos, como a regularização fundiária e melhorias urbanas. Agora, se um instrumento estiver previsto no Estatuto da Cidade, mas o município não o incluir em seu Plano Diretor, ele igualmente não poderá ser aplicado ao município. Entretanto, após um período, se os agentes públicos acharem necessário utilizar esse instrumento, será necessário alterar o Plano Diretor para incluí-lo.

Formalmente, a tramitação do Projeto de Lei da Política Urbana (Estatuto da Cidade) teve início em 9 de outubro de 1990, por iniciativa do senador pelo Distrito Federal Pompeu de Sousa. A sanção da lei federal, contudo, se deu apenas em 10 de julho de 2001. Mas as discussões que

7 MEIRELES ,Hely Lopes: O Direito Municipal Brasileiro, 22 edições. Malheiros Editora, dez 2024

antecederam o projeto datam da década de 1980 e, entre as várias iniciativas que fizeram parte do processo, se destaca o papel do Fórum Nacional de Reforma Urbana – que reunia acadêmicos, técnicos, movimentos sociais e instituições que contribuíram com ideias discutidas em inúmeros congressos para nivelar e criar consenso sobre o tema que desagua no projeto de lei inicial.

Para se ter uma perspectiva histórica, deve-se saber que o Estatuto da Cidade decorre de discussões sobre os resultados qualitativos e de equidade do processo de urbanização brasileiro e de crítica aos modelos de planejamento vigentes. Além do acúmulo de discussões sobre as necessidades das cidades, ocorreram consultas às experiências originadas em municípios brasileiros[8] que foram incorporadas na lei nacional.

No plano internacional também já existia o consenso de que os modelos idealizados de cidade não tinham respondido às necessidades da urbanização ao redor do mundo, o que pode ser visto nas recomendações entre as duas reuniões da ONU, a Habitat I (1976) e a Habitat II (1995[9]). Novos instrumentos urbanísticos passam a ser preconizados como os que apontam para a necessidade de gestão urbana e não apenas de regulação urbana.

"As regras que orientam as ações das novas abordagens consideram, na definição dos instrumentos de planejamento e gestão do solo urbano, princípios como: equidade, eficiência e eficácia, flexibilidade e participação. Esses princípios constituem a base na qual se apoiam o planejamento e a gestão urbana para a formulação de políticas públicas sustentáveis". (RIBAS, 2003, p. 74)

Ao tempo da promulgação do Estatuto da Cidade, além dos instrumentos tradicionais de caráter morfológicos acima referidos, existia um repertório de novos instrumentos gerenciais e de participação que eram demandados pelos técnicos urbanistas e movimentos socais militantes da reforma urbana no Brasil. Quando promulgado, o Estatuto passou a contar com as seguintes categorias de instrumentos:

- **Normas regulatórias** – como o zoneamento de uso e ocupação do solo, o parcelamento do solo e a definição do perímetro urbano que norteiam os proprietários no controle de sua posse e tentam garantir o ordenamento territorial.

- **Incentivos ao desenvolvimento urbano** – apoios diretos e indiretos para o desenvolvimento do solo; revitalização e melhorias urbanas; provisão de infraestrutura para orientar o desenvolvimento urbano; e a regularização fundiária, que garante o acesso à terra e promove a função social da propriedade (direito constitucional).

- **Impostos e taxas** – instrumentos urbanísticos econômicos sobre a propriedade que visam a equidade na distribuição dos acessos aos serviços urbanos.

- **Coordenação institucional** – coordenação de políticas nos âmbitos nacional, regional e local que afetem especificamente o uso do solo e o desenvolvimento, em especial, em temas de interesse difuso, como é o caso da proteção ambiental.

- **Controle social** – garantias da participação da população na gestão urbana por diferentes instrumentos de controle social, como audiências públicas, conselhos paritários governo-sociedade, plebiscito e referendo popular.

8 Disponível em: https://www.scielo.br/j/urbe/a/pdDjXyWfTxfgtwPYmYpfSgK/

9 Disponível em: https://teoriaedebate.org.br/1996/07/01/o-brasil-e-o-habitat-ii/

Outro diferencial contemplado pelo Estatuto da Cidade refere-se à promoção da cidade sustentável em todas as suas dimensões, sendo necessário que o Plano Diretor contemple diretrizes, objetivos e metas que levem em consideração as consequências da urbanização sobre o ambiente natural e social. Entretanto, diferentemente do tema da sustentabilidade social, onde se prescrevem vários instrumentos de como promover justiça social no acesso à terra, na dimensão ambiental da sustentabilidade o Estatuto é pouco detalhado. Deve-se ter em conta que as discussões sobre sustentabilidade surgiram nos anos de 1990, quando muito do que constou do projeto de lei já estava definido, apesar de sua aprovação só vir a ocorrer em 2001. O Estatuto basicamente referenda que intervenções de urbanização devem seguir as normas definidas na Política Nacional de Meio Ambiente.

O controle da cidade irregular ganha destaque no Estatuto, pois tratava-se de um tema reclamado pelos movimentos sociais urbanos desde a década de 1980, pelo clamor do acesso à terra. A busca para melhorar a qualidade de vida dentro das cidades e a integração dos assentamentos irregulares proporcionaram a criação de diversos instrumentos e diretrizes, resultando em uma mudança de paradigma no planejamento urbano, no urbanismo e na infraestrutura urbana.

No que cabe ao município definir o que deve ser aplicado durante a elaboração do Plano Diretor pode-se dizer que existem consequências positivas e negativas e que, certamente, é uma responsabilidade grande a organização social de cada localidade. Os aspectos positivos estão em empoderar a esfera municipal na mediação do conflito entre o direito privado e o interesse público. Isso é bom, pois permite as necessárias diferenciações entre realidades municipais, além de garantir que a questão urbana se torne mais próxima do cidadão. O aspecto negativo é que, ao transferir a regulamentação dos instrumentos para uma negociação que envolve disputas políticas ao nível municipal, esses instrumentos podem ser mais ou menos efetivos dado a pressão dos interesses locais. Caberá ao grau de maturidade da organização social local para que ocorram avanços.

Box 2 – Instrumentos de política urbana previstos no Estatuto da Cidade

- Plano Diretor como o instrumento que aglutina os demais (Art. 4º, III A).

- Zoneamento ambiental como estudo que apoia a elaboração do Plano Diretor (Art. 4º, III C).

- Lei de parcelamento do solo (Art. 4º, III B e Art. 42-B).
- Lei do zoneamento de uso e ocupação (Art. 4º, III B e Art. 42-B).
- Lei do perímetro urbano (Art. 42-B).
- Instrumentos de natureza tributária ou financeira (Art. 4º, IV):

- Imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana, incluindo o imposto progressivo no tempo;
- Contribuição de melhoria;
- Incentivos e benefícios fiscais e financeiros.

- Instrumentos de natureza política e jurídica (Art. 4º, V):

- Desapropriação;
- Servidão administrativa;
- Limitações administrativas;
- Tombamento de imóveis ou de mobiliário urbano;
- Instituição de unidades de conservação;
- Instituição de zonas especiais de interesse social;
- Concessão de direito real de uso;
- Concessão de uso especial para fins de moradia;
- Parcelamento, edificação ou utilização compulsórios;
- Usucapião especial de imóvel urbano;
- Direito de superfície;

- Direito de preempção;
- Outorga onerosa do direito de construir e de alteração de uso;
- Transferência do direito de construir;
- Operações urbanas consorciadas;
- Regularização fundiária;
- Assistência técnica e jurídica gratuita para as comunidades e grupos sociais menos favorecidos;
- Referendo popular e plebiscito;
- Demarcação urbanística para fins de regularização fundiária;
- Legitimação de posse.
- Estudo prévio de impacto ambiental (EIA) e estudo prévio de impacto de vizinhança (EIV) (Art. 4º, VI).

Fonte: Estatuto da Cidade, 2001. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70317/000070317.pdf

Em síntese, a área de uma cidade só será legal se ocorrer dentro do perímetro urbano definido pelo Plano Diretor e com parcelamento seguindo as normas legais previstas na Lei Federal nº 6.755/79, e suas alterações, e na lei municipal de parcelamento, se esta existir. O município pode contemplar um capítulo do seu Plano Diretor ao tema ou definir uma lei própria, que não poderá ser mais restritiva que a federal. Exemplo: se a lei federal define que o lote mínimo é de 120m², o município não pode definir que o lote seja menor, mas pode estabelecer 150m², se assim for acordado nas discussões da lei do Plano Diretor ou da lei de parcelamento.

Observa-se que a condição de irregularidade urbanística na cidade pode advir do descumprimento de:

- Parcelamento fora do perímetro;

- Parcelamento em desconformidade com o que define a lei de parcelamento no que se refere a tamanho de lotes, áreas destinadas a equipamentos, entre outros; e,

- Não ter implantado a infraestrutura urbana obrigatória pela lei de parcelamento federal.

Para além da irregularidade urbanística, pode-se ter a irregularidade fundiária, quando um local de outrem (privado ou público) é invadido (ocupado), e a irregularidade ambiental, quando se ocupam áreas ambientalmente protegidas – privadas ou públicas.

4.5 Plano Diretor e as implicações de suas decisões sobre a infraestrutura

Ao se pesquisar sobre a origem do Plano Diretor de qualquer município, provavelmente o que será encontrado é uma lei que foi encaminhada pelo Poder Executivo[10] e aprovada pela Câmara de Vereadores. Nela constam diretrizes sobre o que se deseja para a cidade; uma relação de instrumentos a serem adotados, com destaque para um mapa que define o perímetro urbano e o zoneamento de uso e ocupação do solo; e a forma como ocupar e construir, ou seja, tamanho de lotes, alturas etc. Certamente, a lei terá outros capítulos onde são apresentados programas de melhorias para algumas áreas, a abertura de vias, entre outros.

O Plano se concretiza com a lei devendo conter todas as normas de uso e ocupação que traduzem as necessidades de novas áreas comerciais ou residenciais, seja por expansão urbana ou adensamento; criação de áreas para equipamentos ou implantação de infraestruturas; indicação de onde se fará renovação urbana ou regularização fundiária, entre outros. Em suma, deve conter respostas às demandas ocorridas nas discussões em sintonia com a legalidade e os princípios técnicos.

10 Existem projetos de lei que não são de iniciativa do Executivo, o que significa que um vereador pode propor. No caso do Plano Diretor, trata-se de uma lei complementar – quando para sua aprovação se necessita de 2/3 do plenário.

Box 3 – O que é o Plano Diretor?

Em síntese, pode se dizer que é um documento composto pelo conjunto de diretrizes, instrumentos e parâmetros urbanísticos destinados a organizar e induzir a ocupação e o uso do solo para garantir de forma justa os benefícios da urbanização, refletindo o ponto de vista da sociedade e do poder público. Suas ações devem promover os princípios da reforma urbana e o direito à cidade e à cidadania.

A elaboração do Plano não se inicia escrevendo uma lei; ela é o resultado de um trabalho técnico de longo alcance. No documento técnico devem constar: um diagnóstico; uma caracterização social, econômica, demográfica e ambiental da cidade; a consolidação das demandas sociais; e as propostas de ordenamento territorial, onde estarão definidas as novas áreas a serem ocupadas ou preservadas, o tipo de ocupação, os equipamentos públicos, as infraestruturas urbanas e a articulação com as leis orçamentárias do município.

A regulação do uso e da ocupação do solo urbano deve representar a materialização das relações socioeconômicas vigentes nas cidades em função de condicionantes ambientais, legais e de características da infraestrutura instalada. Os instrumentos visam orientar os agentes que atuam na construção da cidade, sejam pessoas físicas ou jurídicas públicas ou privadas, a realizarem os investimentos em infraestrutura, equipamentos públicos e edificações. Entre as definições mais relevantes do Plano Diretor quanto ao ordenamento territorial, estão:

- **Perímetro urbano** – define a área urbana ou onde se pode proceder um parcelamento urbano do solo. É subdividido em zonas de uso e ocupação definidas pelo Plano Diretor, sejam em áreas já ocupadas, denominadas de área urbana consolidada, ou zonas por parcelar, demandadas de áreas de expansão urbana.

- **Parcelamento do solo** – instrumento que define as regras de onde e como parcelar, estabelecendo percentuais de uso privado e uso coletivo, assim como as vias públicas, infraestrutura e observância das normas da zona na qual a área a ser parcelada se encontra.

- **Código de Obras e Edificações** – limita e define os padrões construtivos, auxiliando no controle do uso do solo urbano. Utiliza padrões pré-definidos que servem para qualquer situação como, por exemplo, a altura do pé-direito.

- **Zoneamento do uso e ocupação do solo** – divide a cidade (área urbana consolidada e de expansão urbana) em zonas, determinando os tipos de atividades permitidas ou proibidas e regulando as formas de ocupação do solo por meio de índices urbanísticos.

Na definição do perímetro urbano alguns aspectos devem, obrigatoriamente, ser considerados: se a população ou a economia municipal aumentaram, justificando mais áreas urbanas para a alocação de pessoas ou atividades econômicas, ou se aconteceu o adensamento de glebas ou a anexação de áreas rurais à cidade. É certo que essas demandas acarretam custos, especialmente, de infraestrutura.

No caso da opção pela expansão, as glebas passíveis de urbanização não podem impactar as áreas de fragilidade ambiental. Também é recomendável anexar glebas que estejam próximas de sistemas de infraestrutura instalados para reduzir os custos de urbanização.

Infelizmente, quase nenhum Plano Diretor no país tem definido o perímetro com base nesses argumentos

técnicos. Em quase 100% dos casos, na revisão do Plano Diretor amplia-se o perímetro sem que a gleba anteriormente anexada tenha sido ocupada. Esse procedimento resulta em cidades dispersas e com elevados custos de infraestrutura.

No caso do sistema de transporte, a população paga caro em tempo e em passagens. Já o sistema de saneamento não é implantado, pois não se viabiliza em função da baixa densidade. Isso tem ocorrido nas últimas décadas com as cidades médias brasileiras onde ainda existem glebas para incorporar à área urbana. A quem interessa essa contínua expansão do perímetro?

Na definição do perímetro urbano deve acontecer, onde for possível, o parcelamento do solo urbano. Para tal, deve-se seguir as normas da lei de parcelamento, que será discutida mais adiante e na qual a infraestrutura ocupa um papel importante.

Figura 1 – Perímetro urbano, área urbana consolidada e área de expansão urbana

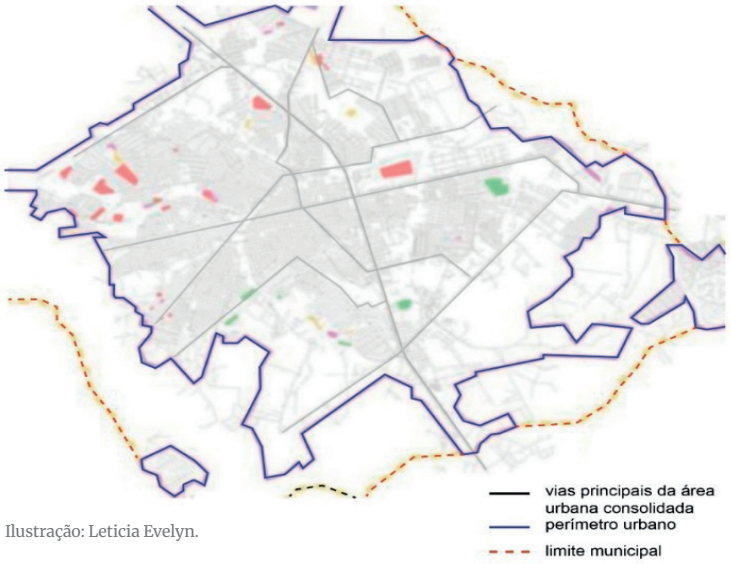


Ilustração: Leticia Evelyn.

Por sua vez, o zoneamento baseia-se em uma concepção da gestão do espaço urbano amparada na ideia de eleger os usos possíveis para determinadas áreas da cidade. Dessa forma, o que se pretende é evitar conflitos e repercussões negativas entre os usos. A cidade é dividida em zonas exclusivas ou pela combinação de usos diferentes que, por sua vez, possuem índices de ocupação que estabelecem as tipologias diferenciadas, geralmente, em termos de adensamento dos lotes – isto é, a normatização do percentual máximo da área dos terrenos que pode ser edificada, do número de andares das construções ou da área máxima construída.

No perímetro da cidade, seja a área urbana consolidada ou a de expansão, é de competência do Plano Diretor definir as zonas urbanas.

Na área de expansão urbana, caso um proprietário possua uma gleba, ele só poderá parcelar para o uso que foi estabelecido no mapa de zoneamento. Se, por exemplo, a gleba tiver sido definida para indústrias e não para habitação, o proprietário terá que parcelar e vender para esse fim, e toda a infraestrutura será calculada para a atividade e o padrão urbanístico definido no zoneamento. Caso contrário, a área estará urbanisticamente irregular e não obterá a autorização do município para registro do parcelamento no Cartório de Imóveis, impedindo a emissão das escrituras dos lotes.

O zoneamento tem grande relevância para a infraestrutura urbana porque ao se definir um padrão urbanístico e seu uso a infraestrutura deve ser dimensionada e instalada de acordo com a ocupação prevista. O número de habitantes e a atividade implicarão no volume de água e de esgoto e na energia necessária. Além disso, o sistema viário deve ser adequado ao volume de tráfego e aos tipos de veículos (carros, caminhões ou ônibus), impactando no dimensionamento e no tipo de pavimento adequado – como será explicado no capítulo 5.

No que se refere à solução técnica para os sistemas de infraestrutura há, também, uma correlação entre a área de infiltração disponível no lote e a drenagem a ser dimensionada, considerando a redução das galerias, sarjetas ou sarjetões.

Igualmente, o tamanho do lote determinará a possibilidade de se instalar uma fossa séptica, ou não, para esgotamento dos dejetos de uma família. Em lotes com grande área e solo permeável não será necessário fazer rede de esgoto.

Também é comum, na revisão de um Plano Diretor, adensar e mudar os usos nas áreas urbanas consolidadas. Pode existir um bairro cuja destinação original era para habitação unifamiliar e o novo mapa de zoneamento estabeleça um adensamento para a construção de edifícios residenciais com 10 andares e os térreos utilizados para comércio. O que ocorrerá? A infraestrutura instalada foi dimensionada para que em cada lote morasse uma família de 3 a 5 pessoas, mas agora vão morar, digamos, 50 pessoas. O que ocorre com a demanda de água, energia, esgoto e de movimento de carros? E o adicional de demanda gerado pelo comércio do térreo?

O resultado dessa simples mudança no zoneamento promoveu a obsolescência da infraestrutura, pois quando se altera a destinação original de uma zona quase sempre se faz necessária uma mudança em termos de infraestrutura, sob pena de que a anterior não suporte as novas atividades. Nesse bairro, à medida que todos passarem a construir com o novo índice estabelecido, ocorrerão congestionamentos, quedas de energia e falta de água por não existir pressão da rede para alcançar os andares mais altos, por exemplo. Qual a solução? Ampliar todas as infraestruturas, mas quem paga a conta?

Por muitos anos, quando ainda vigoravam os Planos Diretores de antes da Constituição de 1988 e do Estatuto da Cidade, essas alterações eram procedidas sem que fossem avaliadas as implicações econômicas e ambientais. Se, por acaso, elas existissem, não havia instrumentos legais para cobrar os ajustes na infraestrutura.

Inclusive por isso, o Estatuto da Cidade estabelece como obrigatória a participação popular durante o processo de formulação do Plano Diretor. Acredita-se que é nesse espaço de interlocução onde essas questões teriam espaço para surgir, além da necessária articulação com o orçamento municipal.

A interface do Plano Diretor com os sistemas de infraestrutura deve ser refletida no zoneamento e nas demais políticas públicas – mobilidade, saneamento básico, habitação, equipamentos de saúde, educação, segurança, entre outras. Isso porque as modificações previstas no Plano Diretor geram demanda pelos serviços, assim como deslocamentos advindos das novas densidades e polos comerciais criados.

Além dos tradicionais instrumentos de uso e ocupação com seus índices urbanísticos, o Estatuto também estabeleceu instrumentos gerenciais e estratégicos, como os de caráter tributário, financeiro, político e jurídico. Com eles é possível realizar alterações que, porventura, a cidade necessite, mas sem transferir para o coletivo da população o ônus do uso dos seus impostos para uma melhoria onde poucos ganham com o adensamento. Por exemplo, em um caso no qual o proprietário ganhou nove vezes a área construída, nada mais justo do que seja ele quem arque com os custos, pelo menos, da infraestrutura que passará a atender os lotes da sua gleba.

A isso se denomina gestão urbana, que é o gerenciamento dos interesses privados mediado com os interesses coletivos da cidade de modo que todos tenham acesso aos benefícios da urbanidade.

No Estatuto existem vários instrumentos que promovem a sustentabilidade e a justiça social na cidade, mas deve-se dizer que, passados 25 anos, a maioria

dos municípios no Brasil não dispõem, em seus Planos Diretores, a previsão desses instrumentos. E por quê? Lembre-se que os instrumentos que constam no Estatuto são possiblidades a serem previstas em cada Plano Diretor, de acordo com a necessidade. Não é obrigatório que se coloque todos, só o que a comunidade local achar que é importante para a sua cidade.

A comunidade, contudo, muitas vezes não conhece todas as possibilidades e, não raramente, nem os técnicos. Assim, vão se perpetuando os interesses de que nada mude na nossa urbanização desigual e permaneçam situações como a apropriação individual (de poucos proprietários) de recursos que são coletivos ou, o que é ainda pior, a cidade passa a ser insalubre e insegura para todos.

4.6 Parcelamento do solo e as responsabilidades pela infraestrutura urbana

A urbanização é o processo de transformação de um território urbano em oposição ao rural, com infraestruturas de sistema viário, saneamento etc., mas também um processo social próprio das cidades no âmbito cultural e socioeconômico. De modo geral, ou seja, legal, a cidade cresce por adição de novos parcelamentos do solo realizados nas áreas de expansão urbana previstas no perímetro urbano. Os parcelamentos são, também, chamados de loteamentos[11] e devem se articular com a cidade consolidada por meio do sistema viário. Um parcelamento antigo pode sofrer alterações de seu loteamento (desmembramento ou remembramento) – o que é muito comum em projetos de renovação urbana. De qualquer forma, é mais comum que ocorram parcelamentos em áreas antes rurais.

As áreas de expansão urbana são parte do zoneamento de uso e ocupação do solo que, como para as demais zonas, define usos e formas de ocupação com índices urbanísticos específicos a serem respeitados. Assim, o urbanista não pode criar o tipo de ocupação que deseja; ele deverá consultar o Plano Diretor e se dirigir ao órgão de gestão urbana local para dar início ao projeto de parcelamento. É sobre isso que iremos discutir aqui e como proceder em relação à infraestrutura urbana.

4.6.1 Norma federal sobre parcelamento do solo urbano: Lei nº 6.766/1979

Desde os anos de 1930, quando o país passou por seu primeiro momento de crescimento das cidades, disciplinar o parcelamento do solo urbano despontou como uma necessidade para mediar as relações entre os interesses privados (parceladores e compradores) e o interesse público. O caminho para estabelecer normas sobre o poder de propriedade foi tortuoso e pode-se dizer que até hoje não é fácil fazer cumprir as leis em vigor, sendo necessário maior controle e fiscalização.

Do ponto de vista legal, o parcelamento do solo urbano é tratado pela Constituição Federal de 1988 (inciso VIII do Art. 30) e pela Lei Federal de Parcelamento do Solo nº 6.766 de 1979, alterada (inclusão ou exclusão) pelas seguintes leis federais: 9.785/1999; 10.932/2004; 12.651/2012; 13.465/2017; 13.780/2018; 13.913/2019; 14.118/2021; 14.382/2022; e 14.620/2023.

Ao regular a matéria concernente aos loteamentos urbanos, a lei se mostrou, na época, inovadora por abordar aspectos civis, urbanísticos, administrativos e penais. A legislação também prevê que os municípios estabeleçam normas complementares para adequar a lei federal às peculiaridades regionais e locais. Assim,

11 VAZ, José Carlos. *Legislação de uso e ocupação do solo*. São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2006. Disponível em: http://www2.fpa.org.br/formacao/pt-no-parlamento/textos-e-publicacoes/legislacao-de-uso-e-ocupacao-do-solo.

deve-se consultar as normas no início de um projeto de parcelamento, sabendo que a lei federal sobrestará sobre a lei local. A consulta da lei vigente pode ser feita nos sites oficiais do Palácio do Planalto, da Câmara dos Deputados, do Senado Federal ou de algum dos órgãos do judiciário federal.

O responsável pelo parcelamento, ou o urbanista contratado, deve se dirigir ao órgão de gestão urbana local para conhecer os procedimentos de aprovação de loteamento e desmembramento e receber as diretrizes expedida pelo órgão. Essas normas serão válidas por quatro anos e, caso o projeto não seja executado no prazo estabelecido no cronograma, ele perderá a validade. Nesse caso, o loteador terá de passar por uma nova aprovação e, se nesse período houver mudança na legislação, terá de se adequar às novas normas.

Destaques da lei federal de parcelamento do solo urbano

Algumas características da Lei Federal nº 6.766/1979 merecem destaque, como a fixação de diretrizes gerais e definições que competem aos governos municipais.

Entre as definições, a lei conceitua o que será admitido no parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidos pelo Plano Diretor, ou aprovados por lei municipal. São estabelecidas por lei basicamente duas modalidades de parcelamento do solo: loteamento da subdivisão da gleba em lotes destinados a edificação, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes; e desmembramento da subdivisão da gleba em lotes destinados a edificação, com aproveitamento do sistema viário existente desde que não implique na abertura de novas vias e logradouros públicos, nem no prolongamento, modificação ou ampliação dos já existentes.

A infraestrutura básica dos parcelamentos deverá ser constituída pelos sistemas viário, esgotamento das águas pluviais, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar.

A lei estabelece uma diferenciação quanto à infraestrutura básica para loteamentos em zonas habitacionais definidas no Plano Diretor como Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS)[12]. Nesse caso, a infraestrutura mínima exigida são vias de circulação que garantam a articulação com o restante da malha viária da cidade, escoamento das águas pluviais, rede para o abastecimento de água potável e soluções para o esgotamento sanitário e para a energia elétrica domiciliar.

Os loteamentos deverão atender alguns requisitos mínimos: áreas destinadas aos sistemas de circulação; implantação de equipamento urbano e comunitário, bem como espaços livres de uso público, que serão proporcionais à densidade de ocupação prevista no Plano Diretor para a zona em que se encontra o parcelamento[13].

O lote mínimo é de 125m² e frente mínima é de 5 metros, salvo quando o loteamento se destinar à urbanização específica ou edificação de conjuntos habitacionais de interesse social previamente aprovados pelos órgãos públicos competentes. Uma vez o parcelamento concluído, aprovado pela prefeitura e registrado no Cartório de Imóveis, o loteador não terá mais nenhuma ingerência sobre ele no sentido proceder alterações de áreas sejam públicas ou privadas.

12 As ZEIS, incialmente criadas para conter as áreas que seriam sujeitas a regularização fundiária – editada pela Lei Federal nº 11.977, de 07 de julho de 2009, foram estendidas às áreas de parcelamento para habitação de interesse social, denominadas "ZEIS de Vazio". Essas áreas possuem índices urbanísticos e obrigações de infraestrutura diferenciados.

13 Se, por acaso, a área onde vai ocorrer o parcelamento não tiver sido prevista no Plano Diretor, deve-se editar uma lei específica alterado o perímetro urbano para incluí-la como zona urbana e definir o tipo de uso e ocupação. Isso foi comum no país na época de recursos abundantes para habitação popular, quando os prefeitos queriam captar recursos para habitação. Esse procedimento legal não é desejável, pois se perde a visão de conjunto da cidade.

Destaca-se que alguns artigos da Lei nº 6.766/79, presentes desde a década de 1970, se fossem contemplados nos dias atuais evitariam muitos problemas por não permitirem o parcelamento do solo:

- em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;

- Em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública sem que sejam previamente saneados;

- Em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;

- Em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;

- Em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

Outro ponto a ser destacado refere-se à necessidade de garantira de faixas de servidão (domínio) para as redes de macro infraestrutura. No caso de ferrovias (ou metrôs de superfície) e cursos d'água, será criada, pelo poder público local, uma faixa *non aedificandi* destinada à proteção da infraestrutura local. As áreas livres e espaços verdes não se encontram definidos na lei federal, cabendo à legislação local estabelecer seus percentuais para cada loteamento, seguido os seguintes parâmetros:

- Ao longo das faixas de domínio público das rodovias, reserva de faixa não edificável de, no mínimo, 15 metros de cada lado, podendo ser reduzida por lei municipal ou distrital até o limite mínimo de cinco metros de cada lado;

- Ao longo da faixa de domínio das ferrovias, será obrigatória a reserva de uma faixa não edificável de, no mínimo, 15 metros de cada lado;

- Ao longo das águas correntes e dormentes, as áreas de faixas não edificáveis deverão respeitar a lei municipal ou distrital que aprovar o instrumento de planejamento territorial, com obrigatoriedade de reserva de uma faixa não edificável para cada trecho de margem, indicada em diagnóstico socioambiental elaborado pelo município;

- Se necessária, a reserva de faixa não-edificável vinculada a dutovias será exigida no âmbito do respectivo licenciamento ambiental, observados critérios e índices que garantam a segurança da população e a proteção do meio ambiente, conforme estabelecido nas normas técnicas pertinentes.

Mas, de quem é a responsabilidade pela implantação dos sistemas de infraestrutura no parcelamento? A Lei nº 6.766/79, em seu artigo 5º, determina que a infraestrutura básica dos parcelamentos é constituída pelos equipamentos urbanos de escoamento das águas pluviais, iluminação pública, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar e vias de circulação, sendo de responsabilidade do parcelador.

O assunto será detalhado nos capítulos específicos sobre cada um dos subsistemas, mas aqui adianta-se que quando se diz que cabe aos parcelador prever as redes de abastecimento, esgotamento e drenagem está se fazendo referência à parte do subsistema que passa na rua que ele abriu para acessar o lote. Assim, a captação de água

e seu tratamento, por exemplo, não é responsabilidade do parcelador, mas ele deverá consultar as empresas de serviços públicos sobre a adutora mais próxima para saber se tem capacidade de abastecer seu loteamento.

Esse é um assunto que sempre é objeto de discussão, pois quase todos acham que cabe ao poder público instalar a infraestrutura, embora essa seja uma determinação da lei federal de 1979, ou seja, em vigor há 45 anos. E por quê? O parcelador é um empresário que faz um produto para colocar à venda no mercado; sua matéria-prima é uma terra rural a qual foi dada a possiblidade de se transformar em urbana, mas, para isso, ele terá que fazer beneficiamentos, ou seja, dotar o local de infraestrutura urbana.

Ao se representar um projeto urbanístico, isso faz sentido? O desenho de um projeto edilício é definido por sua estrutura, instalações, divisões e elevações (seja de alvenaria, madeira, vidro etc.). Já o projeto urbanístico é definido pelo sistema viário que é a principal infraestrutura. Sobre ela serão implantadas as demais redes, como a drenagem e os sistemas de abastecimento e esgotamento. Como se vê, a infraestrutura é o que define um projeto urbano, e sua implantação é a maior marca da transformação da terra rural em urbana. Só assim ela estará apta a ser colocada no mercado e vendida.

Quem opera e mantém a infraestrutura urbana? O poder público ou uma empresa a quem esse concede o direito de exercer, em seu nome, a operação do serviço. Ocorre que após o registro do parcelamento no Cartório de Imóveis, todas as áreas de lotes passam para o nome do parcelador, que pode vendê-las, mas o restante, como o sistema viário, as áreas livres e praças, as áreas para equipamentos e instituições e as infraestruturas instaladas passam para o poder público, que irá operar e manter os sistemas e cobrar taxas como as de abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de

resíduos e imposto predial e territorial urbano (IPTU). Com esses recursos é que o fornecimento do serviço e a manutenção das redes serão realizados.

A legislação referente à Zona Especial de Interesse Social[14], o Estatuto da Cidade e as demais normas de regularização fundiária, como a Lei nº 13.465/2017, atribuem ao poder público local a responsabilidade de solucionar a questão fundiária. Outra exceção refere-se ao tamanho dos lotes, que poderão ser menores do que os 125m² definidos na Lei nº 6.766/79, pois por ser uma ZEIS serão emitidas diretrizes urbanísticas específicas para a área.

Do que consta um projeto de parcelamento do solo urbano?

A elaboração do projeto e os estudos que devem apoiar sua execução passam por algumas etapas. Contratado um urbanista, esse deve ficar responsável por coordenar os estudos necessários, como os levantamentos topográfico e geotécnico prévios, e todos os projetos complementares de infraestrutura (viário, drenagem, água, esgotamento e iluminação).

Box 4 – Normas federais relativas ao parcelamento do solo

Lei Federal nº 6.766/1979 – Lei do Parcelamento de Solo;
Lei Federal nº 12.651/2012 – Código Florestal Brasileiro;
Resolução CONAMA 273/1997 – sobre licenciamento ambiental;
Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);
ABNT NBR 8044/83 – Projeto Geotécnico – Procedimento;
ABNT NBR 6484/01 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT;
ABNT NBR 9603/15 – Sondagem a trado – Procedimento;
ABNT NBR 13.133/94 – Execução de levantamento topográfico;
ABNT NBR 14.166/98 – Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento.

14 O Decreto Federal nº 9.310/2018, que regulamentou a Lei nº 13.465, de 2017, estabelece o máximo de 5 (cinco) salários mínimos a renda da família a ser beneficiada pela REURB-S. Os assentamentos irregulares de média e alta rendas não são incluídos nas normas de regularização fundiária de interesse social.

Alguns aspectos a serem considerados na elaboração dos estudos:

I. **Levantamento topográfico**: os serviços de topografia têm por finalidade a obtenção de um conhecimento geral do terreno (localização, limites, área, confrontantes, relevo, hidrografia, vegetação etc.). São serviços constituídos por levantamentos planialtimétricos e cadastrais, cálculos, desenhos etc., realizados segundo critérios, procedimentos e com equipamentos de acordo com as normas técnicas estabelecidas pela (NBR) 13133/2021.

II. **Investigações geotécnicas**: é o reconhecimento do subsolo visando a caracterização das camadas constituintes do subsolo, o que envolve a identificação da posição das camadas e do nível d'água, a classificação dos materiais presentes, a determinação de parâmetros geomecânicos e, em casos especiais, a realização de sondagens e ensaios especiais de campo e a coleta de amostras de solo para a realização de ensaios de laboratório. As diretrizes para solicitação, execução e apresentação de resultados de sondagens da percussão SPT e sondagens a trado são definidas na ABNT NBR 8044/83. Sobre a relevância dos estudos geotécnicos, vale lembrar que a Lei nº 6.766/1979 estabelece que as localidades inseridas no Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos têm seus projetos vinculados aos requisitos constantes da carta geotécnica de aptidão à urbanização.

III. **Projeto urbanístico de parcelamento**: deve considerar a previsão do zoneamento de uso e ocupação solo do Plano Diretor e a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), quando houver, para definir os índices urbanísticos do parcelamento. A seguir, é apresentada uma síntese do que deve conter o projeto urbanístico e o memorial descritivo que serão analisados pelo órgão gestor urbano:

- A subdivisão das quadras em lotes, com as respectivas dimensões e numeração;
- O sistema de vias com a respectiva hierarquia;
- As dimensões lineares e angulares do projeto, com raios, cordas, arcos, pontos de tangência e ângulos centrais das vias;
- Os perfis longitudinais e transversais de todas as vias de circulação e praças;
- A indicação dos marcos de alinhamento e nivelamento localizados nos ângulos de curvas e vias projetadas;
- A indicação em planta e perfis de todas as linhas de escoamento das águas pluviais.

Box 5 – Memorial descritivo

Memorial descritivo deverá, ao menos, conter:

A descrição sucinta do loteamento, com suas características e a fixação da zona ou zonas de uso predominante;

As condições urbanísticas do loteamento e as limitações que incidem sobre os lotes e suas construções, além daquelas constantes das diretrizes fixadas;

A indicação das áreas públicas que passarão ao domínio do município no ato de registro do loteamento;

A enumeração dos equipamentos urbanos, comunitários e dos serviços públicos ou de utilidade pública já existentes no loteamento e adjacências.

Por que foram instaladas tantas irregularidades nas cidades, uma vez que desde 1979 já existiam regras? As penalidades que a lei previa eram severas apenas para os parceladores, e não aos compradores de lotes, aos fiscais de obra e aos profissionais que aprovavam os projetos.

Ao longo dos anos, os municípios tiveram um comportamento passivo em relação a determinados aspectos do parcelamento do solo, ocasionando implantação de parcelamentos em desacordo com os projetos aprovados; não-implantação de itens exigidos, principalmente no que tange à infraestrutura urbana; desconsideração das áreas públicas necessárias; localização dos parcelamentos de forma descontínua ou com pouca relação com o tecido urbano existente.

Com a edição da Lei de Improbidade Admirativa (8429/1992) e da Lei Complementar nº 101/2000 de Responsabilidade Fiscal, o poder público passou a ser mais severamente penalizado quando não cumpre com suas competências constitucionais.

Outro fator relevante é o reduzido nível de esclarecimento da população, e até do meio técnico, sobre as obrigações das partes – como a obrigação da implantação da infraestrutura e destinação de áreas de equipamentos públicos.

Uma área rural para ser parcelada (para atividades rurais já que não é urbana por estar fora do perímetro urbano) é regida pelo Estatuto da Terra, pela Lei Federal nº 4504/1964 e por Instruções Normativas do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra). Durante a elaboração do Plano Diretor, a pretensão de transformar uma área rural em urbana deve ser antecedida por prévia anuência do Incra, de acordo com a Instrução Normativa nº 82/2015.

Referências – Capítulo 4

CLARK, Giles. *Re-appraising the urban planning process as an instrument of sustainable urban development and management.* Nairobi: Habitat, 1994.

FELDMANN, Sarah. *Urbanismo e planejamento urbano no Brasil nos anos de 1960, 70 e 80: permanências, inflexões e rupturas.* Palestra no Seminário 230 anos de Campinas. Campinas, [s.d.].

HIDEHIKO, Sazanami *et al*. *Enhancing the management of metropolitan living environments in Latin America.* Nagoya, Japan: United Nations Centre for Regional Development, 1994.

RIBAS, Otto Toledo. *A sustentabilidade das cidades: os instrumentos da gestão urbana e a construção da qualidade ambiental.* 2003. 214 p. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

TORRES, Marcos A. A.; MOTA, Maurício J. P.; MOURA, Emerson A. C. *Regulação urbana*. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2024.

VAZ, José Carlos. *Legislação de uso e ocupação do solo.* São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2006. Disponível em: http://www2.fpa.org.br/formacao/pt-no-parlamento/textos-e-publicacoes/legislacao-de-uso-e-ocupacao-do-solo. Acesso em: 22 abr. 2024.

VILLAÇA, Flávio. *As ilusões do plano diretor.* São Paulo: [s.n.], 2005. Disponível em: http://www.usp.br/fau/fau/galeria/paginas/index.html. Acesso em: 22 abr. 2024.

VILLAÇA, Flávio. Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. *In*: DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos (org.). *O processo de urbanização no Brasil*. São Paulo: EdUSP, 1999.



5

Mobilidade e suas relações com a ocupação do solo e sistema viário



O direito à cidade, estabelecido pelo Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, inclui, entre outros serviços urbanos, o acesso à mobilidade. Mas, o que é mobilidade? As definições podem ser diversas a depender da fonte utlizada, apesar de guardarem similaridades entre si ao se referirem ao grau de facilidade com que um deslocamento é realizado dentro de um bairro ou na conexão entre partes da cidade. Em 2012, o país passou a contar com uma norma legal sobre o tema: a Lei nº 12.587/2012 que instituiu a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU). Ela define mobilidade como "um atributo das cidades e se refere à facilidade de deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano".

Com a difusão do conceito de sustentabilidade, mesmo antes da aprovação da PNMU o Ministério das Cidades passou a adotar o termo mobilidade urbana sustentável, que considera não apenas o fator "deslocamento", mas também os impactos deste sobre o ecossistema e as pessoas, bem como a garantia da acessibilidade no que se refere à inclusão social. Nesse sentido, o termo mobilidade urbana sustentável foi difundido como "produto de políticas que proporcionam o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, priorizam os modos coletivos e não motorizados de transporte, eliminam ou reduzem a segregação espacial, contribuem para a inclusão social e favorecem a sustentabilidade ambiental" (Ministério das Cidades, 2007).

Assim, o conceito de mobilidade urbana é abrangente e adota uma visão sistêmica que envolve toda a movimentação de bens e de pessoas por todos os modos de transportes, sendo dependente da morfologia urbana e dos usos do solo para alcançar o objetivo de garantir a circulação desejável para a comunidade de uma cidade. A Política Nacional de Mobilidade Urbana trouxe como item obrigatório a elaboração do Plano de Mobilidade Municipal para cidades com mais de 20 mil habitantes, visando definir ações de melhoria da mobilidade a partir das definições do zoneamento de uso e ocupação do solo e das condições do sistema viário e da política de transportes locais. Isso significa uma mudança em relação ao que sempre foi feito nas cidades brasileiras, onde predominou a segmentação entre o planejamento de transportes e o planejamento urbano.

Mas, por que o planejamento urbano está vinculado à mobilidade? Isto se dá pelo fato de que as decisões tomadas sobre expansão urbana e formas de ocupação e alocação de atividades, sejam residenciais ou econômicas, possuem impacto direto nas estratégias de deslocamento das pessoas, que precisam chegar aos destinos utilizando os modais que a cidade oferece. Por modal entenda-se as diferentes formas de se locomover (a pé ou utilizando patinete, bicicleta, carro, ônibus etc.), devendo existir compatibilidade entre a opção de modal e a distância a ser percorrida, a idade do usuário e as condições do espaço público.

O Plano de Mobilidade Urbana, em si, não tem o poder de alterar as leis urbanísticas de uso e ocupação do solo, que são objeto do Plano Diretor. Ele vai apenas verificar o que existe de demanda criada pelos usos definidos e ajustar a estrutura da cidade para melhor viabilizar os desejos de deslocamentos das pessoas.

Alguns aspectos abordados em um plano de mobilidade:

- Melhoria de circulação nos centros, podendo até implicar em desestimular o acesso de automóveis particulares nestas áreas, impactando nos usos do solo;
- Reorganização de linhas de ônibus e a integração entre ônibus, trem, metrô e transporte hidroviário, implicando em melhorias no sistema viário, no mobiliário urbano e na distribuição de atividades;
- Adequação de infraestrutura do sistema viário como ruas, passeios, ciclovias e corredores de transporte.

Box 1 – Os desafios das cidades dispersas

As baixas densidades típicas das cidades dispersas implicam em impactos nos custos dos transportes motorizados, pois ao longo do itinerário se deslocam poucas pessoas que cruzam grandes áreas desocupadas até chegarem ao seu destino. O sobe e desce do ônibus é pequeno, não renovando o número de passageiros, o que faz com que o custo da viagem seja dividido por poucas pessoas, fator que acarreta uma tarifa cara. No caso das cidades adensadas, o itinerário tende a ter um grande sobe e desce de passageiros, resultando em uma tarifa menor. Este é um exemplo de que o custo da tarifa está mais atrelado a definições da política urbana do que da política de transportes.

Outra característica das cidades dispersas é o favorecimento dos modais motorizados, já que esse modelo eleva as distâncias e o tempo gasto em deslocamento, tornando a cidade menos democrática. Se além de dispersa a cidade for desconectada nas suas atividades e funções urbanas, o uso do transporte coletivo fica inviabilizado, intensificando a utilização de veículos particulares e segregando ainda mais a sociedade.

A cidade dispersa desconsidera a infraestrutura instalada e gera demandas para atender atividades e pessoas (moradia, comércio, cultura, entre outros). Por outro lado, é necessário avaliar o potencial da infraestrutura instalada para decidir sobre seu adensamento de modo que não ocorram sobrecargas que sejam tão negativas quanto a ociosidade da infraestrutura.

Por exemplo, uma cidade com zoneamentos exclusivos tende a dificultar os deslocamentos a pé devido as distancias entre serviços e moradias. Outra situação imposta pela setorização é que os deslocamentos ocorrem sempre nos mesmos horários, criando congestionamentos. Todos saem do trabalho ou da escola no mesmo horário e se deslocam para as áreas residenciais. Por outro lado, as áreas de altas e medias densidades com uso misto geram economias significativas no custo do transporte ao reduzir a distância ou a necessidade de transporte para acesso aos serviços e atividades, pois estes encontram-se distribuídos e mais próximos dos locais de residência.

Assim, o equilíbrio entre a capacidade de oferta da infraestrutura de mobilidade urbana instalada deve possuir correspondência com a densidade de ocupação e os usos de cada zona da cidade. Mas, uma vez havendo alterações de uso e ocupação das zonas (índices de aproveitamento, taxas de ocupação, gabaritos etc.), toda a rede de mobilidade entrará em desequilíbrio demandando ajustes. Outro aspecto que influencia muito a mobilidade são os padrões de ocupação do solo, pois a depender do tipo de arranjo entre taxas de ocupação e tamanho de lote, gabaritos, entre outros índices urbanísticos, resultará em maior compactação ou dispersão do tecido urbano, o que provoca maiores ou menores distâncias de deslocamento dentro da cidade. Essas distâncias e condições do espaço urbano possibilitam ou não o uso de modais não-motorizados. Isso não significa ter uma cidade pequena; uma grande cidade pode ter várias centralidades, quase independentes, onde em cada uma seja possível alcançar as necessiddades básicas em viagens não-motorizadas. Essa é uma discusão teórica, mas que pode ter muitos exemplos de aplicabilidade[1].

Por tudo isso, promover a mobilidade sustentável não se trata de uma intervenção isolada, mas de uma política urbana que envolve ações em várias frentes, com foco maior no ordenamento do território do que na engenharia de transportes ou no sistema viário. Se quiser conhecer mais sobre o assunto não faltam estudos[2] para nos lembrar que, apesar de mobilidade se referir à existência de transporte público e ativo, acreditar que somente esses aspectos a definem é uma visão reducionista, pois as demandas são dadas pelo zoneamento de uso e ocupação do solo.

Acessibilidade

Agora, já tendo uma compreensão do conceito de mobilidade e das relações entre gestão de transportes e planejamento urbano, é importante discutir o que se entende por acessibilidade. Veja, esse conceito não está restrito apenas ao deslocamento das pessoas que apresentam algum tipo de limitação de movimento, seja por alguma deficiência ou pela idade, a acessibilidade é um direito de todos. E significa ter acesso, ou seja, não ter seu deslocamento limitado por restrições de infraestruturas urbanas como sistema viário (ausência e mau dimensionamento de calçadas, falta de segurança para os deslocamentos a pé ou por bicicleta, seja por tipos de pavimento, inclinações elevadas e outros aspectos da morfologia das cidades) ou de transporte público (linhas deficientes, tarifas elevadas, operação precária e insegura etc.). Assim, a acessibilidade pode se mostrar mais deficiente para pessoas com mobilidade reduzida, mas ela é necessária para todos.

Tendo em vista esses entendimentos de mobilidade e de acessibilidade, verifica-se que para fazer frente à crise de mobilidade das cidades brasileiras deve-se encaminhar soluções nas seguintes linhas: (i) promover políticas de uso e ocupação do solo que sejam facilitadoras

1 No livro *Projeto e Cidade – Centralidades e Mobilidade Urbana* (KNEIB, Erika, Org.) é possível encontrar vários estudos (com exemplos) sobre o tema. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/403/o/PROJETO_E_CIDADE_CENTRALIDADES_E_MOBILID%282%29.pdf.

2 MIRANDA *et al.*, 2009.

da mobilidade; (ii) melhorar os projetos urbanísticos do sistema viário (todos seus elementos e não só em alargamento de vias); (iii) por último, melhorar os sistemas de transportes coletivos e públicos. Parece haver uma ordem inversa, pois a prioridade tem sido investir nas consequências e não nas causas.

Essa última linha se refere à política, planejamento e gestão de transportes que possui na engenharia de transportes seu campo disciplinar. Portanto, não iremos adentrar nas discussões sobre tarifas, itinerários e frequência dos modais públicos etc. O foco do estudo neste livro, voltado a urbanistas e planejadores urbanos, é internalizar a mobilidade na prática das decisões urbanísticas. Se bem encaminhados os aspectos de ordenamento do território e infraestrutura, muito se terá feito para que o sistema de transportes seja eficiente e inclusivo, pois facilitar a circulação para bens/mercadorias e pessoas é decisivo para a atração de investimentos, seja em habitação, indústria, comércio, serviços, lazer. Por isso, a mobilidade constitui um diferencial na vida e na economia das cidades.

5.1 Políticas de uso e ocupação do solo facilitadoras da mobilidade

Os instrumentos de planejamento urbano mais utilizados nos Planos Diretores para ordenar o território conformam arranjos que caracterizam cidades facilitadoras/dificultadoras da mobilidade, são eles: (i) definção do perimetro urbano; (ii) zoneamento urbano,índices urbanísticos e seus parâmetros (taxa de ocupação, índice de aproveitamento, gabaritos e densidade etc.); (iii) parcelamento do solo; e (iv) a morfologia dos espaços públicos.

O perímetro urbano, ou seja, a definição da linha que contorna as áreas urbanas consolidada e de expansão, separando-as das áreas rurais, é outro instrumento relevante para a mobilidade, pois ele define a mancha do território que pode ser urbanizada, implicando no fato de termos uma cidade mais compacta ou dispersa. Em conjunto com a lei de uso e ocupação do solo, vai determinar maiores ou menores deslocamentos. Deve-se ter em conta que o zoneamento urbano, com a definição de usos e os parâmetros de ocupação do solo, deve ocorrer para a zona urbana já consolidada e para as zonas de expansão urbana, onde se farão os novos parcelamentos de acordo com lei própria.

Por sua vez, o zoneamento urbano e as normas de uso e ocupação do solo são os instrumentos que passam a ser considerados pelo que se denomina, em planejamento de transportes, de “origens e destinos das viagens”, ou seja, se os fluxos de deslocamento serão curtos ou longos exigindo motorização ou não, de acordo com as regras de planejamento urbano.

Já a lei de parcelamento do solo municipal deve conter índices urbanísticos que garantam que as áreas de expansão urbana se integrem à cidade consolidada da melhor forma possível. Para tanto devem:

- Emitir normas para uso e ocupação do solo, correlacionando-as com a capacidade atual e futura da malha viária.

- Garantir a interligação entre o sistema viário previsto e o existente no entorno do parcelamento para que as vias tenham continuidade, evitando “ilhas” no território.

O dimensionamento, hierarquia e tipo de pavimentação deve considerar os usos do solo e as formas de ocupação com maior ou menor densidade. Do mesmo modo, a geometria viária (o desenho, a forma) deve buscar a melhor interação com a topografia e a

hidrografia e garantir a segurança dos diferentes meios de deslocamentos sabendo que a demanda é diferenciada para modais como bicicletas, carros, ônibus, pedestres e a classificação das vias.

A morfologia dos espaços públicos da cidade se relaciona tanto com as condicionalidades impostas pelo meio físico como com as urbanísticas. Entre aquelas do meio físico, a topografia e a hidrografia são as mais relevantes. Um exemplo é o caso de cidades planas que são favoráveis ao uso de bicicletas, mesmo para distâncias maiores. Por outro lado, em locais de topografia excessivamente acidentada, a urbanização tende a se acomodar às barreiras naturais, criando vias mais íngremes e tortuosas, o que pode dificultar o caminhar e andar de bicicleta. Barreiras naturais relevantes também são encontradas em cidades marítimas ou ribeirinhas, que possuem seu traçado amoldado a esses obstáculos ao mesmo tempo em que possuem potencial paisagístico e condições adequadas para a implantação de calçadões e ciclovias. Já as cidades em montanhas têm sua morfologia marcada por vias sinuosas e íngremes que dificultam a vida dos pedestres e o desempenho de vias de alta velocidade.

Existem ainda as barreiras urbanas, como cidades cortadas por rodovias ou ferrovias que também sofrem consequências na mobilidade. Especificamente nos casos de rodovias, elas normalmente trazem um problema adicional, atraindo atividades relacionadas ao transporte de carga e gerando um elevado tráfego de passagem, com veículos de grande porte, com impactos ambientais e na segurança.

No que se refere à decisão de traçados decorrentes de desenho urbano, eles são mais visíveis em cidades planejadas como Brasília, pois as demais possuem seus traçados determinados pelos condicionantes acima referidos. O que se deve saber é que existem traçados viários que propiciam mais opções de trajetos e facilitam a organização de binários e vias especializadas para o transporte coletivo e outros, como os conjuntos em *cul de sac* tendem a criar áreas segregadas.

Esses são instrumentos urbanos que, quando aplicados, orientam a produção e o crescimento das cidades; disciplinam a distribuição das atividades econômicas e sociais no território; e limitam ou estimulam o crescimento horizontal ou vertical da cidade e, consequentemente, o seu adensamento. Como resultado, determinam os padrões presente e futuro da mobilidade urbana, nos quais a estrutura viária tem especial participação na configuração do desenho das cidades.

Box 2 – Do que deve tratar o planejamento urbano voltado à mobilidade

- Evitar a expansão do perímetro urbano se não for comprovado que as áreas ainda existentes são insuficientes para a demanda por novas moradias e/ou serviços, isso com base na demografia e no crescimento econômico.
- Maximizar as infraestruturas para reduzir o tempo de deslocamento quando a expansão do perímetro for próxima a áreas urbanas já consolidadas.
- Incentivar a promoção de loteamentos de baixa renda em áreas bem atendidas pelo transporte coletivo.
- Integrar o sistema viário dos novos loteamentos com o sistema viário existente.
- Definir parâmetros urbanísticos que criem áreas de uso misto e de densidade média, em consonância com a capacidade das infraestruturas instaladas para que não sejam sobrecarregadas ou ociosas.
- Promover os meios de transportes não motorizados com a construção de calçadas de boa capacidade, ciclovias e incentivo ao uso do transporte coletivo.

Em todas essas situações, os planos de mobilidade urbana devem considerar as particularidades locais, explorar as potencialidades de cada situação e desenvolver medidas para minimizar seus impactos negativos. Uma discussão entre as normas do Plano Diretor e do plano de mobilidade possibilita alterar o perfil da demanda para deslocamentos na cidade, interferir na escolha do modo, otimizar o aproveitamento da infraestrutura urbana já instalada e reduzir a necessidade de novos investimentos.

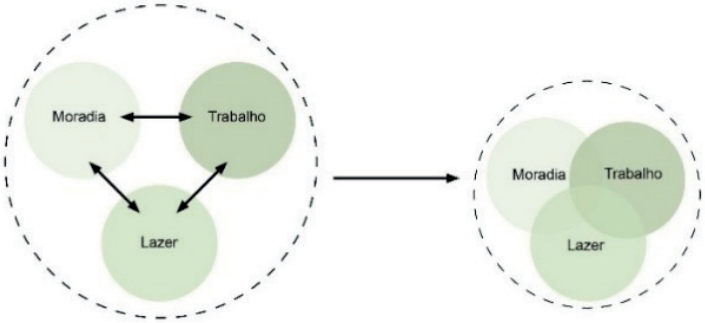
5.1.1 Cidades compactas e dispersas e suas relações com a mobilidade

Discussões sobre modelos de cidade (compactas ou dispersas) e formas de funcionamento com seus diferentes metabolismos (circular ou linear) devem ser consideradas no planejamento urbano que visa a promoção da mobilidade.

Diversos estudos[3] inferem que as cidades com melhores possibilidades de mobilidade sustentável são mais compactas, visto que possuem características como: médias/altas densidade, uso do solo misto, continuidade do tecido urbano sem grandes vazios e conectividade entre os vários elementos do sistema viário. Essas características precisam ocorrer em conjunto, pois conformam um padrão urbano que é facilitador da mobilidade.

3 ROGERS, R.; GUMUCHDJIAM, P. *Cidades para um pequeno planeta*. 1ed. Barcelona: Ed. Gustavo Gilli, 2001. RUEDA, S. *Modelos de Ordenacion Del Território Más Sostenibles*, 2002. [Internet]. Disponível em: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n32/asrue.html#3>.
NEUMAN, M. *The Compact City Fallacy*. Journal of Planning Education and Research. Volume 25, nº1, 2005, pp. 11-26. 2005 [Internet]. Disponível em: http://jpe.sagepub.com/content/25/1/11.

Figura 1 – Diagrama de núcleos compactos e mistos reduzindo as necessidades de deslocamento



Fonte: Adaptado de ROGERS E CUMUCHDJIAN (2001)

Em relação à densidade, percebe-se que na compactação existe densidade maior do que na dispersão, o que possibilita aos habitantes percorrerem distâncias menores do que aquelas percorridas em cidades com áreas físicas maiores. Em relação ao uso do solo, observa-se que a diversidade de usos, seja na cidade compacta ou na dispersa, gera a possiblidade de deslocamentos a pé, o que estimula a movimentação das pessoas e amplia as possibilidades de integração social. A continuidade espacial, ou seja, a relação entre cheios e vazios existentes em uma cidade, auxilia a mobilidade por criar ritmo, unidade e redução dos percursos, tornando mais atrativo caminhar ou utilizar outros modais ativos. Por fim, a conectividade e a acessibilidade geram maior articulação, maior número de conexões e acessos entre espaços públicos e privados e entre os espaços públicos. Referem-se ao tratamento das calçadas, desníveis, barreiras, mobiliário urbano e demais articulações entre os elementos constituintes dos espaços públicos.

O quadro a seguir resume essas características da configuração urbana e sua influência sobre a mobilidade sustentável. Todos esses aspectos são dependentes dos padrões urbanos e estão ou não presentes em cidades compactas ou dispersas, sendo definidos por zoneamentos de uso e ocupação do solo e seus índices urbanísticos e de densidade.

Quadro 1 – Síntese dos fatores relacionados à forma urbana compacta e sua influência em padrões de mobilidade urbana sustentável

Fatores relacionados à forma urbana compacta	Influência na mobilidade urbana sustentável	Atributo espacial
Densidade	A densidade é influenciada pelos índices urbanísticos (taxa de ocupação, índices de aproveitamento, gabarito). Criar uma diversidade urbana de tipologia de habitações, diferentes densidades, tamanhos diferentes de terrenos públicos ou privados implicaria em menor segregação espacial e poderia influenciar a mobilidade urbana porque é um atributo condicionador da densidade. O aumento da densidade pode auxiliar na redução das viagens por veículo se planejado junto com a oferta de transporte público e uso misto do solo. Baixa densidade impacta de forma negativa a mobilidade urbana.	Estrutura urbana compacta
Características do uso do solo urbano (uso misto,	Promover o uso misto e maior proximidade entre as diversas atividades pode reduzir a necessidade do automóvel e facilitar a construção de uma rede de transporte mais eficiente e integrada. Uso singular ou zoneamento rígido pode gerar mais deslocamentos no tecido urbano, impactando de maneira negativa na mobilidade urbana.	Proximidade de atividades Diversidade dos espaços públicos
Continuidade	Tendência à limitação do processo de expansão urbana. Crescimento próximo ao centro. Preenchimento dos espaços vazios, requalificação dos espaços degradados. A expansão das cidades é um fator que gera mais viagens de automóvel.	Redução de espaços vazios
Características do desenho urbano	As características do desenho urbano podem auxiliar na redução de viagens de automóvel, principalmente se houver articulação com o serviço de transporte público por meio de melhor conectividade e acessibilidade entre ruas, calçadas e ciclovias. Dependendo da concepção do desenho urbano, pode-se atribuir em determinadas áreas urbanas uma maior ou menor utilização para os transportes não-motorizados ou transporte público, reduzindo a dependência do automóvel.	Articulação entre ruas, calçadas e ciclovias Qualidade de acesso e mobiliário urbano no tratamento dos espaços públicos

Fonte: GENTIL (2015, p.62).

Para que o Plano Diretor não desconsidere seu papel na promoção da mobilidade, vale conhecer uma metodologia que se denomina Desenvolvimento Orientado ao Transporte (em inglês, *Transit Oriented Development* – TOD) que mais recentemente passou a ser utilizada no Brasil, apesar de já ser conhecida desde a década de 1970. Ela[4] prioriza as cidades compactas onde o uso misto do solo, em conjunto com índices urbanísticos, é utilizado para promover médias e altas densidades em torno de estações de metrô, criando centralidades que privilegiam o pedestre e o ciclista articulados ao transporte de massa.

Para isso, o foco do planejamento urbano parte da estruturação da vizinhança. O pedestre deve ter acesso a serviços e transporte público de alta capacidade em um raio de 400 a 800 metros a partir de um ponto de parada, seja BRT, VLT ou metrô (um transporte de massa). Desta forma, a metodologia advoga o uso de oito princípios-chave: caminhar; pedalar; conectar; promover o transporte coletivo; compactar; adensar; misturar; e promover mudanças (ITDP, 2014).

4 CERVERO, SUZUKI e LUCHI (2013) e FRAKER (2009).

Box 2 – Princípios para um planejamento de TOD

- **Caminhar:** vias para pedestres desobstruídas, bem iluminadas e de alta qualidade aumentam a mobilidade básica para todos. Os equipamentos urbanos, os elementos do paisagismo e as fachadas ativas dos prédios transformam calçadas e passagens em espaços públicos vibrantes, confortáveis e seguros.
- **Pedalar:** um bom plano cicloviário aumenta a segurança dos ciclistas ao reduzir a velocidade nas faixas de rodagem ou criar pistas separadas para as bicicletas. É essencial ter uma rede completa de ciclovias e ciclofaixas, além de elementos adequados para produzir sombra, superfícies lisas, estacionamento seguro para as bicicletas e integração intermodal.
- **Conectar:** uma rede densa para trajetos a pé ou de bicicleta resulta em conexões mais curtas, variadas e diretas que melhoram o acesso a mercadorias, serviços e transporte público.
- **Promover o transporte coletivo:** um sistema de transporte rápido, frequente, confiável e de alta capacidade reduz a dependência de veículos motorizados individuais. É importante planejar a localização de empreendimentos imobiliários de alta densidade próximos ao transporte público de alta qualidade.
- **Compactar:** a reorganização ou a requalificação do tecido urbano existente ajuda a garantir que os residentes morem perto dos empregos, escolas, serviços e outros destinos, reduzindo assim o tempo das viagens e as emissões dos veículos.
- **Misturar:** uma mistura diversificada de usos residenciais e não residenciais reduz o número necessário de viagens e garante que o espaço público seja animado e vibrante em todos os horários.
- **Adensar:** a intensificação dos usos residencial e comercial no entorno das estações de transporte de alta capacidade ajuda a garantir que todos os residentes e trabalhadores tenham acesso a um transporte de alta qualidade.
- **Promover mudanças:** tarifas adequadas de estacionamento e redução da oferta geral de vagas em vias públicas e em áreas privadas incentiva o uso do transporte coletivo, a pé ou de bicicleta. Estudos sobre o tema podem divergir sobre o raio máximo para o acesso do pedestre em relação às estações. De maneira geral, considera-se que 10 minutos ou até 1km é uma distância aceitável para a caminhada. Reiterando que, para um bom projeto de TOD, esse caminho deve ser amigável ao pedestre.

Fonte: ITDP, 2014.

5.1.2 Melhorar os projetos urbanísticos do sistema viário

No que se refere ao urbanismo, o sistema viário constitui na própria expressão do projeto urbanístico, pois por meio dele se configura a cidade ou a fração urbana que está sendo incorporada à cidade por meio de um novo parcelamento do solo. Se em um projeto de edificação os ambientes e a representação do projeto ocorrem por meio de paredes, em um projeto urbanístico os espaços são definidos e representados por meio de vias.

Do ponto de vista funcional, o sistema viário visa garantir deslocamentos seguros para a população no exercício de suas várias necessidades, sendo formado por calçadas, onde circulam as pessoas, e vias para os diferentes modais de transportes, como veículos automotores, públicos e privados, e modais ativos, como bicicletas e patinetes. Ainda como parte do sistema viário, existem equipamentos que apoiam os modais, como estacionamentos de diferentes tipos, terminais de integração e paradas de transporte público que se articulam com as calçadas. Trata-se de um sistema com vários elementos que devem ser coordenados entre si e com os demais espaços da cidade.

Deve-se ter em conta algumas características adicionais do sistema viário, como o fato de ser, entre os sistemas de infraestrutura urbana, o que possui maior relação com a população. É muito fácil compreender essa afirmação quando dispomos de uma calçada bem dimensionada e com o pavimento adequado ou na integração entre os vários elementos viários, criando a conectividade entre as faixas de rolamento de vias, estacionamentos, paradas de transporte coletivo etc. É imediata a sensação de conforto. Por outro lado, é o sistema de infraestrutura urbana que mais demanda recursos, normalmente envolvendo cerca de 50% dos custos de implantação de um parcelamento do solo, e, também, o

que ocupa maior quantidade de área, pois, obedecidas as regulamentações urbanísticas não menos de 30% da área de um parcelamento é destinada ao sistema viário.

Apesar de todas as infraestruturas serem de difícil alteração e envolverem grandes volumes de recursos financeiros, o sistema viário, por se relacionar com as propriedades privadas permitindo acesso aos lotes, é o mais difícil de ser alterado, pois, além dos custos financeiros, demanda negociação com todos os proprietários lindeiros. Toda e qualquer necessidade de alargamento de vias exige grande bastante negociação com a comunidade bem como vultosos investimentos em desapropriações.

Em complemento a tudo isso, ainda abriga estacionamentos e serve de local para embarque e desembarque de passageiros e de carga. Isso tudo sem contar que recebe as demais infraestruturas urbanas como rede de água, esgotos, energia elétrica, telefonia, drenagem, resíduos etc.

Assim, além da sua função primordial de viabilizar os deslocamentos, pode-se elencar funções urbanísticas que resultam, muitas vezes, em diferenciar as cidades, dando-lhes identidade e constituindo o que se denomina imagem da cidade. São elas:

- O direito de acesso a lotes e propriedades de forma geral;

- A difusão de luz e circulação de ar pelo ambiente urbano;

- Espaços para convivência e socialização;

- Locais para diversão, entretenimento ou exercício físico;

- Espaços para o plantio de árvores, arbustos e jardins;

- Mobiliário urbano como bancas de revista; bancos etc.

De modo tradicional, a gestão do sistema viário sempre foi realizada para garantir a fluidez aliada à segurança da circulação de veículos, não sendo de estranhar que o sistema viário tenha comparecido, na maioria dos planos urbanos, como um tema de transportes sem abordar os diferentes aspectos que conferem o atributo de mobilidade a cidade. Isso explica por que os investimentos destinados à expansão da infraestrutura viária não têm resultado em melhoria das condições da circulação urbana nas cidades brasileiras, pois o transporte é consequência da demanda criada pela estrutura urbana.

Não se está defendendo que o planejamento viário não tenha sua importância, assim como o conhecimento acumulado e as ferramentas desenvolvidas nesse campo. Contudo, para alcançar o objetivo da mobilidade, a engenharia de transportes e de tráfego constitui apenas uma parte dos fatores a serem abordados. O planejamento viário deve estar acompanhado e intimamente ligado ao planejamento e às políticas urbanas, envolvendo os instrumentos de regulação urbanística e os princípios da acessibilidade universal e sustentabilidade.

Dessa forma, para garantir a articulação entre os aspectos que promovem mobilidade deve-se estudar o que lhe é específico, ou seja, os aspectos técnicos relativos ao correto dimensionamento, bem como o domínio das condicionantes do meio físico para que exista coordenação dos diferentes conhecimentos e se alcance uma cidade com mobilidade e qualidade de vida e ambiental.

5.2 Aspectos técnicos para definição do sistema viário

Tendo em conta a compatibilização entre o uso e a ocupação do solo lindeiro às vias urbanas, se faz necessário uma hierarquia do sistema viário para evitar possíveis conflitos entre pessoas e veículos automotores tanto no que se refere à garantia do acesso e da segurança como no conforto para o desempenho das atividades. Para tal, vários órgãos técnicos nacionais e internacionais definiram categorias de vias com funções e regras sobre velocidade, estacionamento, tipo de pavimento, entre outras.

Box 3 – Algumas normas sobre o sistema viário

- Normas para Projetos de Vias Urbanas – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER), 1974.
- Sistema Viário Nacional na Modalidade Rodoviária – Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1976.
- A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes (AASHTO), edição de 2004.
- Guide for the Development of Bicycle Facilities – Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes (AASHTO), 3rd edition, 1999.
- Guide for the Planning, Design and Operation or Pedestrian Facilities – Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes (AASHTO), 2004.
- A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes (AASHTO), 2004.
- Highway Capacity Manual, Highway Capacity Manual – TRB, 2000.
- Highway Functional Classification: Concepts, Criteria, and Procedures – Federal Highway Administration,1989.

As normas listadas no Box 3 não têm força legal e a classificação dos componentes do sistema viário no Brasil é fluida, o que tem levado a alguns conflitos com a adoção de nomenclaturas e parâmetros de dimensionamentos diferenciados, mas é possível identificar recorrência e será com essa visão que as explicações a seguir serão feitas.

Para começar, é comum surgirem algumas dúvidas ao se realizar um projeto urbano: qual a hierarquia entre as vias do sistema? Como se define o dimensionamento de vias para diferentes modais? Quais os elementos constituintes das vias? Qual a distância mínima entre esses elementos e sua necessária articulação? E as inclinações aceitáveis dos diferentes tipos de modais e para diferentes usuários? E sobre os pavimentos seguros e confortáveis?

Primeiro, é fundamental que se entenda que não existe um único documento legal onde estejam definidos todos esses parâmetros. Eles podem constar de um código de postura ou serem objeto de uma diretriz especifica sobre o sistema viário emitida pelo órgão de gestão urbana municipal ou até de trânsito. Em algumas cidades, é possível encontrar parâmetros do sistema viário nas leis de parcelamento do solo, mas daí só são válidos para novos parcelamentos. Não é incomum municípios que não possuam norma alguma.

5.2.1 Sobre a classificação viária

O sistema viário é composto por vias de diferentes características físicas e operacionais que devem ser classificadas de acordo com a prioridade que se dá a cada tipo de usuário: pedestre, ciclista ou motorista de carros, caminhões de cargas ou transporte público de passageiros.

Na maioria das vezes, a hierarquia das vias é algo

perceptível por quaisquer pessoas. Existem aquelas que nos acostumamos a chamar de "principais", com pavimentação diferenciada, fluxo maior de veículos e diversidade de atividades, ao passo que outras possuem uso mais residencial, com fluxo menor de veículos e que se conectam com uma principal. Essa diferenciação existe nas cidades mesmo sem ter havido uma classificação planejada. Uma via pode concentrar mais atividades por ser a mais larga ou a mais longa e/ou a que se conecta a um número maior de outras vias.

Quando isso ocorre de forma planejada a redução de conflitos é menor e as diferentes funções que as vias desempenham na cidade podem ser mais bem exercidas. Mas não existe apenas uma classificação possível para distinguir as vias quanto à sua função dentro do sistema viário, que na realidade será sempre um ajuste entre a visão técnica e a realidade de cada cidade.

A classificação viária urbana encontrada nas diferentes normas técnicas reconhece basicamente três classes de via (arterial, coletora e local). Por via urbana se entende aquela com existência de edificações lindeiras por toda sua extensão.

O Código de Trânsito (Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997) contempla uma classificação próxima a essas três categorias principais, mas acrescidas de outras que as complementam para melhor fluidez do trânsito:

- **Vias principais ou arteriais** – vias de grande autonomia que estruturam a malha urbana, possibilitando o trânsito entre regiões da cidade. Seu tráfego é predominante de modais motorizados (automóveis, ônibus e caminhões) com velocidades de 60 km/h. Os estacionamentos laterais não são recomendados para garantir fluidez ao trânsito mesmo considerando que possuem muitos estabelecimentos de comércio e serviços. Geralmente são rotas do transporte coletivo, o que implica adequar os pontos de parada com baias para minimizar o efeito negativo sobre o tráfego dos demais modais. Ainda são comuns os canteiros centrais ou ilhas que visam garantir a segurança da travessia de pedestres.

- **Vias secundárias ou coletoras** – são vias intermediárias que abrigam, de modo geral, usos mistos e muitos pedestres, demandando muitas infraestruturas para os diversos públicos. Servem de saída das vias locais, mas, principalmente, ligam duas arteriais, servindo tanto ao tráfego de passagem como o local. Sua velocidade é normalmente de 40 km/h. Geralmente servem ao itinerário de ônibus com paradas próximas às vias locais. Constitui, entre as vias, a de gestão mais desafiadora por contemplar características das arteriais e das locais.

- **Vias locais** – vias de tráfego restrito destinadas ao acesso às unidades domiciliares. Seu dimensionamento e pavimento não devem priorizar o tráfego e deve prever estacionamentos para as residências e visitantes. Podem ser pensadas como áreas de lazer para os moradores, onde pedestres e ciclistas tenham prioridade, e não deve ser acessada por ônibus e caminhões. A velocidade máxima desejável é de 30 km/h.

- **Vias especiais** – especializadas em um determinado modo de circulação como ciclovias, vias de pedestres etc.

- **Vias marginais** – auxiliares de uma via de maior hierarquia, como as expressas, e visam promover a redução de velocidade e o acesso às atividades lindeiras.

- **Vias expressas** – possuem como função principal o trânsito livre, sem interseções em nível, sem acesso direto aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível. Possuem velocidade de 80 km/h e, normalmente, dois

sentidos de tráfego com canteiro central ou ilhas centrais para orientar e dar segurança ao trânsito, sendo sua travessia idealmente sem desnível, sejam subterrâneas ou elevada.

Tabela 1 – Larguras recomendadas para as vias (pistas)

Tipo da via	Largura Recomendada (m)		
	Com 1 faixa de rolamento e 2 faixas de estacionamento	**Com 2 faixas de rolamento e 1 faixa de estacionamento**	**Com 2 faixas de rolamento e 2 faixas de estacionamento**
Local	7,2 (1 x 2,8 + 2 x 2,2)	7,8 (2 x 2,8 +1 x 2,2)	10,0 (2 x 2,8 + 2 x 2,2)
Coletora ou arterial	-	8,5 (2 x 3,0 + 1 x 2,5)	11,0 (2 x 3,0 + 2 x 2,5)

Quanto ao espaçamento de cada categoria de via, apesar de não existir uma norma, é comum que vias principais se distanciem em média 1,6 km uma das outras e as arteriais e secundárias em torno de 1 km. Por sua vez, o que se denomina como vias paisagísticas não constituem uma classe de via e se diferenciam por dar acesso a um recurso natural, como o mar ou um parque, ou por terem uma bela paisagem. Dessa forma, as vias paisagísticas podem ser classificadas de acordo com suas respectivas funções no sistema viário: expressa, arterial, coletora ou local.

Figura 2 – Definições tipológicas da hierarquia viária



Ilustração: Leticia Evelyn.

No caso da cidade já consolidada, ao se fazer a classificação do sistema viário e proceder os ajustes necessários para o bom desempenho das vias, essa classificação tende a orientar a definição dos parâmetros dos índices urbanísticos de regulamentação do uso e da ocupação do solo. Mas, em se tratando do projeto de um novo bairro ou parcelamento, deve-se ter em conta os usos e as atividades previstas e projetar as vias para o seu melhor desempenho de acordo com as normas técnicas. Em qualquer situação, o uso do solo e o sistema viário estão intimamente ligados.

Para definir a localização de um equipamento gerador de tráfego como estádio, shopping, hospital, escola, entre outros, é muito relevante o estudo da capacidade das vias no raio de influência desse equipamento. Também é muito importante o estudo sobre a possiblidade de ajustes na classificação atual por meio de obras. Para isso existe um instrumento denominado Relatório de Impacto de Trânsito.

Outra classificação utilizada quando se discute o sistema viário, não só da área urbana, mas de todo o município, refere-se às vias intermunicipais.

- **Vias intermunicipais** – interligam cidades, pontos de uma área conurbada ou áreas rurais, permitindo o tráfego livre e o desenvolvimento de velocidade. Podem ser:

- **Rodovias** – vias pavimentadas que podem ser de três tipos:

  - Autoestrada – permite tráfego livre, sem interseções em nível para veículos e pedestres e acessos definidos em projeto;

  - Expressa – permite cruzamento sinalizado no mesmo nível e acessos às atividades lindeiras por meio de marginais;

  - Comuns – demais vias intermunicipais.

- **Estradas** – vias não pavimentadas, alimentadoras das rodovias, também conhecidas como estradas vicinais.

As rodovias devem estar afastadas do perímetro urbano, pois possuem um fluxo alto e de veículos pesados que não deve ser colocado em confronto direto com o fluxo veicular urbano e, muito menos, com a travessia de pedestres. Quando a rodovia adentra a área urbana o risco de ocorrência e gravidade de acidentes é aumentado, não sendo recomendado que se permita usos do solo ao longo das rodovias para que não aconteçam travessias de pedestres e de veículos.

Ocorre que em muitos casos a classificação legal pode não ser capaz de contemplar a complexidade da rede viária de uma cidade. Na prática, muitas vezes é interessante distinguir, por exemplo, vias semi expressas como um ponto intermediário entre as expressas e as arteriais. Ou, ainda, pensar no papel que a via desempenha em uma escala urbana ou regional: vias arteriais radiais, vias arteriais perimetrais, vias locais centrais ou de bairro, por exemplo.

Assim, a partir da lógica de que a classificação ordena o tráfego e as atividades tornando o sistema mais seguro e operacional, em cada cidade deve ser realizado o exercício de estabelecer uma classificação, tendo em conta as normas técnicas sem esquecer a percepção da população, que guarda relação emocional com a paisagem e, no fim, é seu usuário principal.

O quadro a seguir sugere atividades e tipo de tráfego idealmente admissíveis nas diferentes tipologias de vias.

Quadro 2 – Características típicas de vias na hierarquia funcional

	Vias locais	Vias coletoras	Vias arteriais	Vias expressas
Atividade predominantes	Caminhada a pé, acesso de veículos, entrega de mercadorias, serviços aos domicílios, veículos lentos em movimento	Movimentos veiculares no início e final das viagens, paradas de coletivos	Tráfego para vias expressas, operação de coletivos, trajetos de média/curta distância	Veículos em movimento rápido, trajetos de longa distância
Tráfego Local	Comum (função essencial)	Grande	Pequeno	Quase inexistente

Tráfego de passagem	Quase inexistente	Quase inexistente	Comum (de média distância)	Comum (de longa distância)
Estacionamento de veículos	Permitido (exceto em locais inseguros)	Permitido e muito utilizado	Restrito (em função das condições de tráfego)	Proibido (proporcionado em vias locais paralelas
Movimento de veículos pesados	Permitido para entregas e serviços	Regulamentação de atividades de entregas e serviços e de percurso	Regulamentação por percurso	Permitido (função importante para distribuição e tráfego através)
Acesso veicular ao uso do solo	Permitido (função essencial) interseções frequentes	Disciplinado (locais seguros), interseções frequentes com movimentos permitidos	Restrito e protegido (para polos geradores) interseções espaçadas ou com proibição de movimentos (vias divididas)	Proibido (proporcionado em vias locais paralelas), acesso controlado por ramais bem espaçados
Movimento de pedestres	Livre com cruzamentos aleatórios	Controlado em faixas de pedestres	Protegido e canalizado (interferência mínima no tráfego)	Segregação total (com separação de níveis)
Regulamentação de velocidades	Limite de 20 a 30km/h (pequenos raios de curvatura e obstáculos eventuais)	Limite de 40 a 50km/h (raios de curvatura moderados e obstáculos em situações extremas)	Limite de 60 km/h (sem raios de curvatura reduzidos e obstáculos para controle de velocidades)	Limite superior a 80km/h (exceto onde a geometria for desfavorável)
Características da vida	Pistas simples sem divisão, com faixas de rolamento estreitas ou estacionamento permitido	Pistas simples ou separadores simples, faixas comuns (>3m), estacionamento permitido (2m a 2,5m)	Pistas separadas com canteiro largo, faixas largas e baias de conversão (função da maior velocidade).	Múltiplas pistas, separadas por canteiros, faixas largas (3,6m), acostamentos ou baías laterais, vias auxiliares de transição e ramais de acesso/egresso

Fonte: Adaptado de PIETRANTONIO, Hugo. ***Organização do Sistema Viário***, Notas de Aula – Capítulo 2, Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Brasil, 21 p., s/d. Disponível em: [http://sites.poli.usp.br/d/ptr2377/Capítulo2a.pdf].

5.2.2 Projeto dos elementos do sistema viário

O desenho dos elementos do sistema viário pode contribuir para estimular ou inibir a mobilidade sustentável na cidade, ou seja, pode induzir as pessoas a usarem o automóvel ou andarem a pé, por exemplo. Influencia, ainda, as atividades econômicas e outras funções urbanas que dependam da acessibilidade para seu desempenho. Já foi bastante discutido o papel da indução da mobilidade pelo planejamento urbano quando este define os usos e as ocupações do solo. Aqui será discutido, por meio dos elementos do sistema viário, o projeto urbanístico do espaço urbano e como esse pode influenciar na promoção da mobilidade.

Assim, após o estabelecimento da hierarquização das vias, deve-se ter em conta os elementos que compõem as vias e as dimensões mais adequadas ao seu bom funcionamento para os usuários, sejam pedestres ou condutores dos diferentes modais. Os elementos (i) calçada, (ii) pista de rolamento, (iii) estacionamento, (iv) ilha/canteiro central e (v) ciclovia possuem características em termos de dimensões, declividade e pavimentação que têm relação com o volume de tráfego e os usos lindeiros.

Box 4 – Impactos e desdobramentos do planejamento viário

Calçadas desniveladas e/ou obstruídas por mobiliário urbano desestimulam a circulação a pé e impedem a passagem de pessoas com cadeiras de rodas. Pistas largas induzem à maior velocidade dos veículos, ao contrário de ruas estreitas. O estreitamento da largura ótica da via por meio da arborização urbana condiciona o motorista a dirigir mais devagar. A padronização da pavimentação, da colocação do mobiliário urbano e da arborização nas calçadas beneficia a paisagem da rua, influenciando, assim, na valorização dos lotes e edificações.

Fonte: GONDIM (2010). Caderno de Desenhos Ciclovias.

O deslocamento realizado a pé depende de calçadas livres de obstáculos e barreiras para garantir uma experiência agradável. Assim, interrupções no trajeto como escadas, entradas para passagem de carro, excesso de elementos disputando o espaço, passagem muito estreita, entre muitos outros, são fatores que desestimulam a caminhada. Além disso, a drenagem e a pavimentação são infraestruturas extremamente importantes para criar espaços de caminhada seguros e confortáveis.

A calçada

A calçada é composta por, pelo menos, quatro faixas diferentes, sendo cada uma associada à sua função: faixa de passeio; faixa de mobiliário e arborização; faixa de acesso à edificação; e faixa de segurança. Assim, para calcular a dimensão total da calçada deve-se ter em conta o somatório dessas diferentes funções que ela possui e que, por sua vez, possui relação com a classe da via a qual pertence.

De início, considera-se que o usuário principal da calçada, o pedestre, ocupa, normalmente, 0,75m para se deslocar, sendo por isso essa a dimensão mínima da faixa de passeio, que terá variações de 1,50m a 2,25m, a depender de se tratar de uma calçada de uma via local ou coletora, por exemplo.

A faixa de acesso à edificação pode variar entre 0,30m e 0,60m, se a via tiver grandes edifícios ou muitas vitrines, para que uma pessoa possa parar sem atrapalhar o deslocamento das demais. A faixa de mobiliário e arborização será menor no caso de vias locais, onde pode ser de 0,75m, podendo adquirir maiores proporções em vias coletoras e arteriais, onde se tem pontos de ônibus e necessidade de outros mobiliários. Nesses casos, podem ser de 1,20m para uma parada até 2,70m se tiver um abrigo de parada. A faixa de segurança refere-se ao afastamento mínimo que deve existir entre o mobiliário urbano em relação ao meio-fio da calçada e visa proteger o pedestre dos veículos que transitam na via. Esta faixa não tem uma dimensão muito bem definida, mas existe um certo consenso sobre 0,30m.

Como já dito, as normas de acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, como aqueles que visam a atender à maior gama de variações possíveis das caraterísticas antropométricas e sensoriais da população, devem ser observadas. Para tal, deve-se consultar a NBR 9050/2020.

Definidos os elementos, suas dimensões e funções, deve-se ficar atento a algumas questões operacionais que impactam na qualidade de uma calçada e têm relação com outras decisões tomadas no uso do espaço público:

- Assegurar que postes, hidrantes e outros mobiliários urbanos não impeçam acesso às paradas de ônibus e às áreas de embarque e desembarque e vice-versa;

- Não permitir que estacionamentos obstruam hidrantes;

- Verificar o sistema de drenagem e garantir que a calçada possua declividade transversal com inclinação de 2% para facilitar o escoamento das águas;

- Checar a cota de soleira das edificações para que exista coordenação entre as edificações e a calçada em gerar degraus ou outro tipo de barreira.

Box 5 – O que é cota de soleira?

A palavra soleira deriva do latim solum e significa "referente ao solo". A soleira é um elemento construtivo do piso que serve para arrematar quando há uma mudança de materialidade ou nível. Cota de soleira é a referência altimétrica do piso da entrada principal de um edifício a partir da qual se mede a altura máxima da construção para cumprir os índices urbanísticos. No início da obra se solicita ao órgão de gestão urbana que demarque o nivelamento da cota de soleira para que as demais alturas sejam definidas. No caso das calçadas, essa deve estar coordenada com a cota de soleira do edifício para que não ocorram desnivelamentos entre a edificação, a calcada e a via.

É sabido que a qualidade das calçadas é determinante para incentivar a caminhada pela cidade. Um jovem, normalmente, está disposto a percorrer entre 1 km e 1,5 km para acessar a pé uma área de lazer, trabalho ou uma estação de transporte público. Depois disso, deve-se pensar no uso da bicicleta que, por sua vez, possui uma distância ideal de percurso entre 800m e 3 km, podendo chegar a 5 ou 6 km em uma viagem casa-trabalho.

Tabela 2 – Velocidade média de caminhada em função do sexo e da faixa etária

Pedestres	Velocidade média IPT (1991)	
	m/s	Km/h
Homens com menos de 55 anos	1,7	6,1
Homens com mais de 55 anos	1,5	5,4
Mulheres com menos de 50 anos	1,4	5,0
Mulheres com mais de 50 anos	1,3	4,7
Mulheres com crianças	0,7	2,5
Crianças de 6 a 10 anos	1,1	4,0
Adolescentes	1,8	6,5
Média	1,4	4,9

Fonte: Adaptado de VALDÉS (1988).

Conforme a NBR 12.255/1990 sobre a execução e utilização de calcadas, o pavimento dessas deve constituir-se de material com resistência a abrasão, ser antiderrapante, principalmente quando molhado, confortável para os pedestres e não permitir o acúmulo de detritos e água pluviais.

A execução das calçadas, em que pese ser de responsabilidade do proprietário do imóvel, deve contar com regras gerais emitidas pelo órgão de gestão urbana. Infelizmente, o comum tem sido cada proprietário executar como deseja, o que significa uma omissão do poder público em sua obrigação de garantir a qualidade dos espaços públicos. Para além de promover as boas condições para o deslocamento de pedestres, estas áreas podem ser compostas por técnicas sustentáveis que contribuam para a infiltração das águas, colaborando com a drenagem e com a recarga de lençóis freáticos.

Figuras 3 e 4 – Variações das calçadas conforme a característica da via

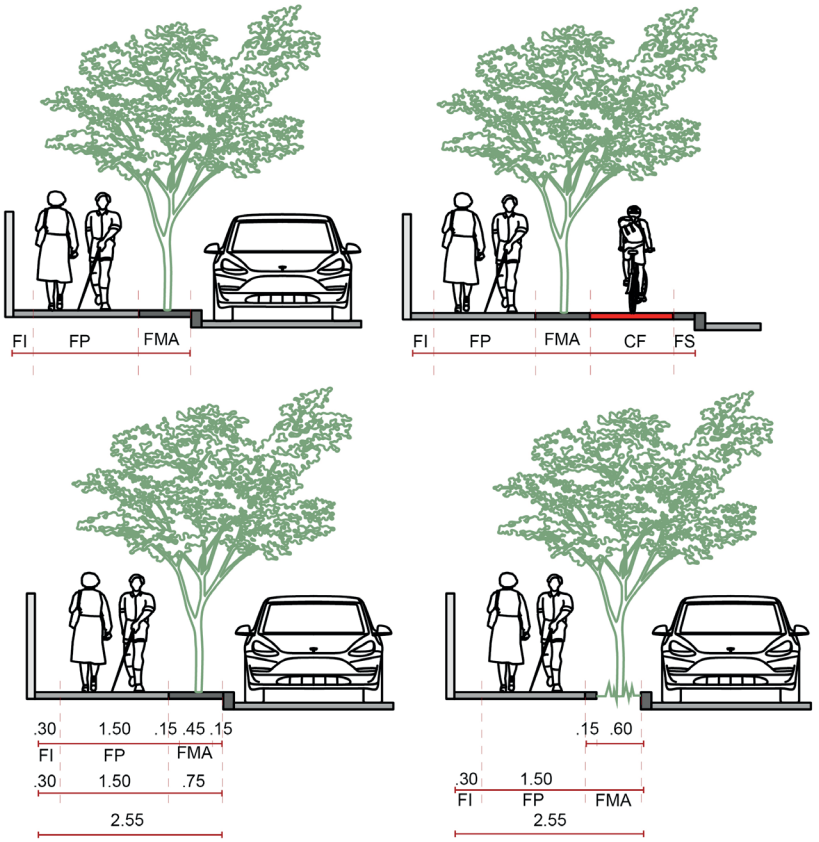


Ilustração: Leticia Evelyn.

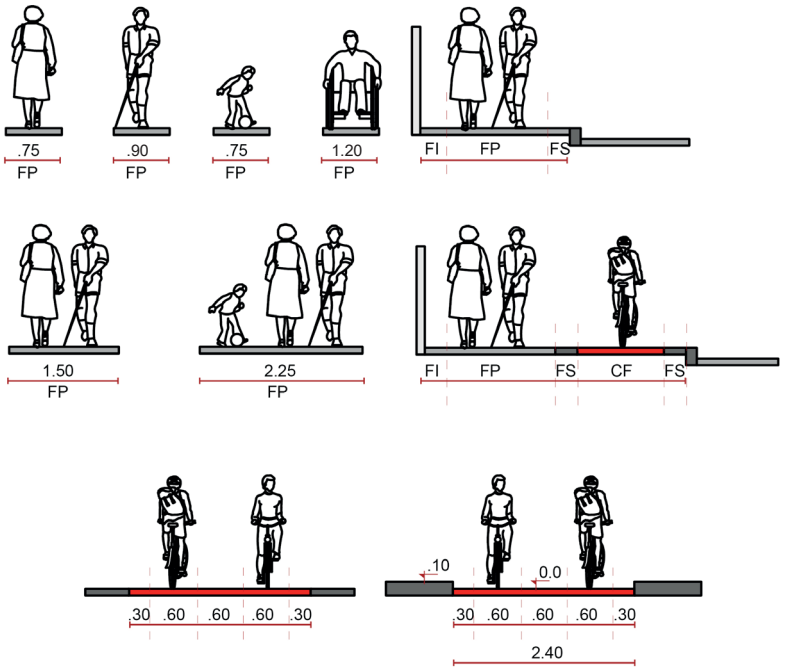


Ilustração: Leticia Evelyn.

Tabela 3 – Larguras de influência de elementos circundantes à calçada

Elementos	Faixa de influência
Muros	0,30m
Residências e pequeno comércio	0,45m
Prédios e lojas	0,60m
Vitrines	0,90m

Fonte: GONDIM (2010). Caderno de Desenhos Ciclovias.

Travessia de pedestres

A travessia das vias constitui-se em um aspecto relevante e que foi desconsiderado por muitos anos nas nossas cidades, mas que hoje está regulamentado pela Resolução do Conselho Nacional de Trânsito (Contran) nº 738, de 2018, e pela lei de acessibilidade, Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Nela constam regras para pisos e rampas das calçadas que, também, se diferenciam por classe de vias.

Assim, os projetos urbanos devem prever a circulação e o fluxo de pedestres, com definição dos pontos de travessia. Cabe observar o seguinte: todas as vias com velocidade máxima de 40 km/h devem contar com travessias de pedestres iluminadas e com o meio-fio das calçadas e do canteiro central rebaixado de forma a não apresentar degraus. Os rebaixamentos de calçadas devem obedecer a NBR 9050, com inclinação constante e não superior a 8,33%.

Figura 5 – Exemplo de rampa de travessia

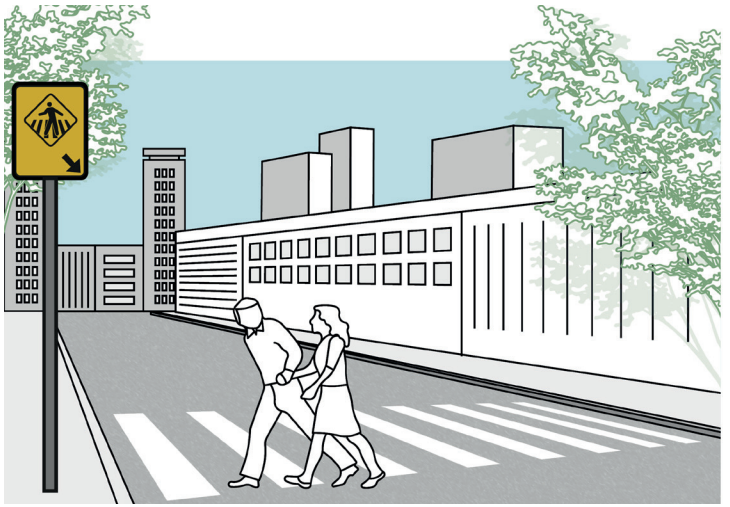


Ilustração: Leticia Evelyn.

Uma regra a ser seguida é a que determina a inclinação da rampa de travessia entre 5% e 10%, com patamar em frente ao topo de rampa com seção mínima de 0,90m, não podendo ocupar a faixa de passeio e coincidindo com a largura da faixa de segurança ou de mobiliário e arborização. No caso de inclinação superior a 8%, deve-se prever guarda-corpo e pavimento com texturas para aumentar o atrito e garantir a segurança.

Box 6 – Soluções de travessia

Algumas soluções podem tornar a travessia mais segura e confortável, tais como:

- Alargamento das calçadas adjacentes de forma a diminuir a largura das faixas de rolamento;
- Alargamento de calçadas visando à eliminação de espaços de estacionamento ou que possam acomodar automóveis estacionados irregularmente na área de aproximação da travessia;
- Travessias ao nível da calçada (plataformas);
- Ilhas centrais de refúgio.

As travessias ao nível da calçada (plataformas) garantem continuidade e conforto aos modais não motorizados como pedestres e ciclistas, pois impede a alta velocidade dos modais motorizados. A Resolução Contran n° 495, de 5 de junho de 2014, estabelece os padrões e critérios para a instalação de faixa elevada para a travessia de pedestres em vias públicas.

A partir dessas referências, é possível dimensionar as calçadas considerando as circunstâncias da cidade e do uso da via.

Pista de rolamento

A pista de rolamento é destinada à circulação de veículos motorizados e pode ser composta por uma ou mais faixas, com dois sentidos, ou não, separadas por sinalização horizontal. Havendo mais faixas em dois sentidos, normalmente possui um canteiro central ou ilha para maior segurança da travessia de pedestres. Em caso de via exclusiva de ônibus, essa costuma ser sinalizada e/ou possuir pavimento rígido para maior durabilidade.

A largura da faixa de tráfego é calculada de acordo com o tipo de veículo que predominantemente utiliza a via e a velocidade para ela definida em função da classe. A partir da dimensão da faixa, calcula-se a pista de rolamento a depender do número de faixas em cada sentido, se for o caso. Ao final, acrescenta-se de 0,45m a 1,20m de distância de ultrapassagem, ainda considerando a velocidade da via.

Segundo Gondim (2010), considerando as medidas dos veículos acrescidas da distância de ultrapassagem, as faixas de trânsito destinadas ao rolamento de veículos nas áreas urbanas possuem, em média, 2,55m, 2,70m e 3,75m para, respectivamente, uma via local, uma coletora e uma arterial. Por sua vez, a faixa de ônibus deve ter a dimensão de 3,30m de largura mais a faixa de ultrapassagem. Deve-se considerar que larguras exageradas podem ser tão prejudiciais quanto reduzidas, pois também criam insegurança para o condutor.

Tabela 4 – Larguras recomendadas para faixa de veículos em corredores de ônibus

Posicionamento da faixa	Largura mínima (m)	Largura recomendada (m)	Largura mínima (m)
Lado direito	3,00	3,30	3,90
Central	2,70	3,30	3,90
Lado esquerdo	2,70	3,30	3,90
Estacionamento paralelo	2,25	2,40	2,55

Tabela 5 – Largura das faixas de acordo com a classe da via

Tipo de via	Largura mínima (m)	Largura recomendada (m)	Largura máxima (m)
Local	2,70	2,85	3,00
Coletora	3,00	3,30	3,45
Arterial	3,30	3,45	3,60
Expressa	3,60	3,75	3,90

Existe um campo da engenharia que trata da geometria viária[5] e que determina todas as garantias para a segurança da pista de rolamento com detalhes de raios de giro dos veículos e sua acomodação nas categorias de pistas de rolamento; raios das curvas em relação à velocidade da via; elevação das curvas e drenagem das águas para segurança do tráfego e muito mais[6].

5 Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de manuais/vigentes/740_manual_projetos_geometricos_travessias_urbanas.pdf

6 Recomenda-se a consulta por quem tiver interesse em se aprofundar no tema.

Estacionamento

O estacionamento pode ser uma permissão de parada ao longo da via ou uma estrutura independente para a parada de veículos. Seu dimensionamento tanto em área por veículo como em número de veículos decorre dos ângulos utilizados para a parada. Cada ângulo, seja 0º, 30º, 45º, 60º ou 90º, exige medidas diferenciadas para o tamanho da vaga e sua faixa de manobra, pois a área ocupada por um veículo sempre será a mesma. Assim, se a vaga estiver posicionada a 0° em relação à calçada será de, no mínimo, 5,50m de comprimento. A vaga a 45° ocupa 4,75m; a posicionada a 60° necessita de 5,50m; e a 90° indica-se 5m. Em todos os casos a largura seria de 2,40m.

Figura 6 – Vagas segundo os ângulos de parada

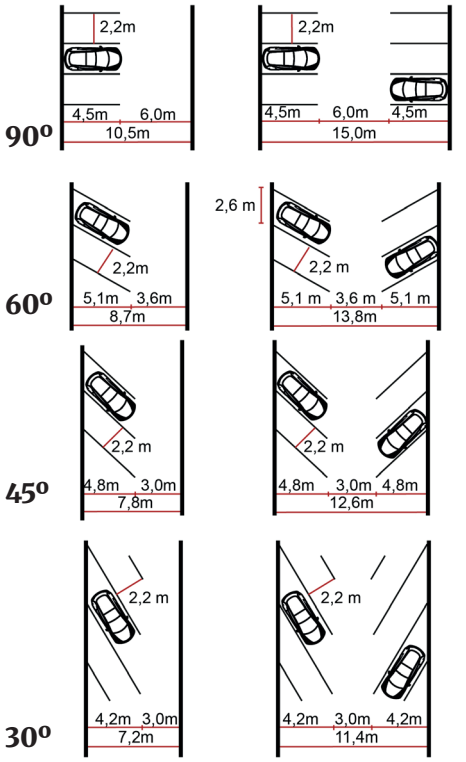


Ilustração: Leticia Evelyn.

Os espaços de estacionamento devem ter vagas para diferentes modais (carros, motos, bicicletas), para carga e descarga de mercadorias, para emergências, além das vagas destinadas exclusivamente às pessoas idosas e às pessoas com deficiência ou com dificuldade de locomoção, conforme determinam as Resoluções Contran nº 303/2008 e nº 304/2008.

Deve-se ter em conta que a previsão do estacionamento lateral ao meio fio diminui a largura da pista de rolamento para além da largura do veículo, pois existem os movimentos de espera, entrada/saída da vaga e abertura de portas. Essas restrições não são desejáveis no sistema arterial nem coletor, sendo recomendado nas vias locais e, no máximo, aceitável nas vias coletoras secundárias. Quando for necessário permitir o estacionamento, é preferível que essas faixas sejam dispostas ao longo de um recuo no meio-fio e em apenas um lado da via. A experiência mostra que a maioria dos veículos estaciona junto ao meio-fio a uma distância de 0,15 a 0,30m de sua face e ocupa uma largura de cerca de 2,10m. A largura mínima desejável para estacionamento é, portanto, 2,40m.

A marcação com pintura das áreas de estacionamento resulta em uma utilização mais eficiente e ajuda a impedir a invasão de áreas junto aos hidrantes, paradas de ônibus, áreas de carga e descarga, proximidades de esquinas, áreas deixadas livres junto a ilhas e outros locais nos quais é proibido estacionar.

Baias de ônibus

Nas vias arteriais é previsto que os ônibus façam suas paradas em baias que possuem como objetivo permitir a desaceleração, parada e aceleração dos ônibus fora das faixas do tráfego direto, de modo a não gerar interrupção do trânsito e, ainda, garantir a segurança dos passageiros do ônibus. O comprimento das faixas de aceleração deve ser bem maior do que o tamanho de um ônibus na posição "parado", levando em conta que a capacidade de aceleração é bem menor do que a de um carro de passeio. A largura da baia, incluindo acostamento, deve ser de 3m, com a garantia da faixa de tráfego do ônibus de 3,30m; em relação ao comprimento, deve-se verificar qual o tipo de ônibus em operação (simples ou articulado). O pavimento deve ser, preferencialmente, rígido para evitar desgastes e utilizar cor e/ou textura para desencorajar o tráfego de passagem.

Figura 7 – Exemplo de baia de ônibus

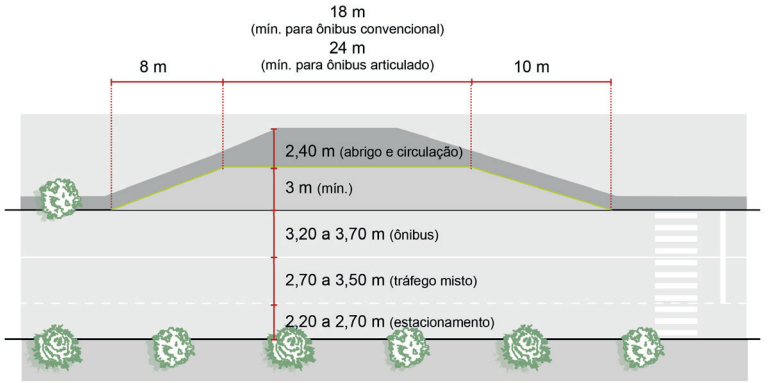


Ilustração: Leticia Evelyn.

Ilhas e canteiros centrais

O canteiro central (ou ilha) se constitui em um espaço elevado em relação à pista de rolamento. Ele é previsto em vias mais largas para dar segurança aos pedestres nas travessias e deve ter o meio fio rebaixado e uma rampa de travessia em seu alinhamento com a passagem de pedestre e/ou ciclovia. Possui, ainda, a finalidade de disciplinar as pistas de rolamento em sentido contrário.

Tabela 6 – Parâmetros do canteiro central segundo a categoria da via

Categoria da via	Largura do canteiro central (m)
Vias Expressas	
Mínimo	
Pistas de 2 faixas	1,80
Pistas de 4 faixas	3,00
Pistas de 6 ou mais faixas	6,60*
Desejável	12,00
Vias Arteriais Primárias	
Sem faixa de giro à esquerda	
Mínimo	1,20 (0,60)
Desejável	3,00
Com refúgio de pedestres	
Mínimo	1,80 (1,20)
Desejável	4,20
Com faixa de giro à esquerda	
Mínimo	3,60 (3,00)
Desejável	5,40
Com proteção dos veículos que cruzam	
Mínimo	6,00
Desejável	14,00
Com retornos - movimentos entre faixas internas	
Mínimo	9,00
Desejável	19,00

Fonte: DNIT (2010) Manual de projeto geométrico de travessias urbanas.

Figura 8 – Infraestrutura das vias

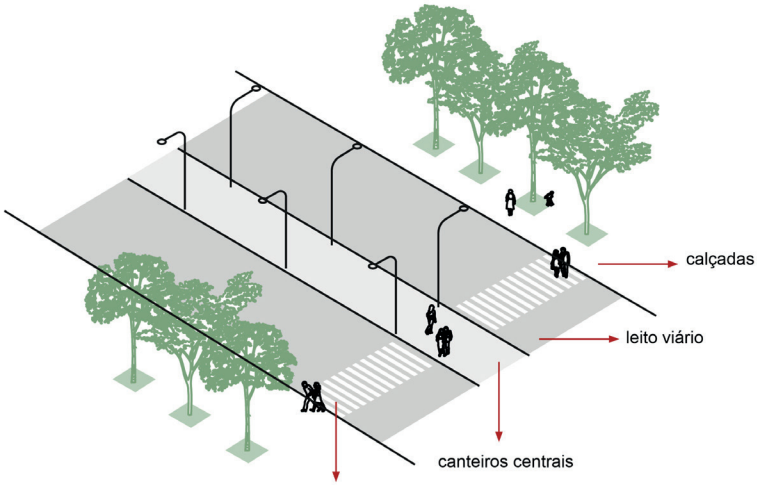


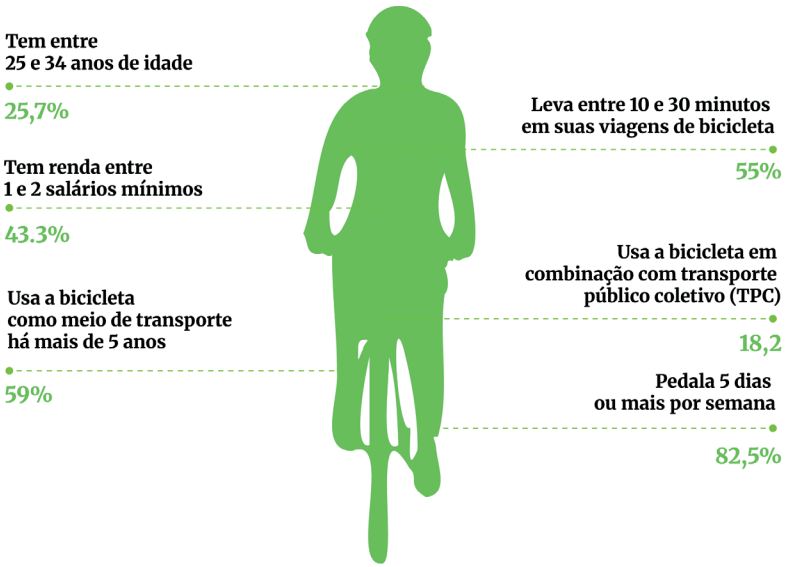
Ilustração: Leticia Evelyn.

Vias de bicicletas

O Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP) monitora as possiblidades de apoio da bicicleta para acesso à rede de transporte público e considera que a maioria dos usuários percorre com tranquilidade até 3km utilizando esse modal. Assim, caso houvesse uma infraestrutura segura e confortável para o ciclista, essa distância tanto seria utilizada para viagens por outros motivos quanto teria grande relevância na ampliação do alcance da rede de transporte público via integração ônibus/metrô com a bicicleta.

Essa informação é muito relevante para que se priorize a bicicleta nas cidades, desde que guardadas as distâncias e as características que tornam esse modal seguro.

Figura 9 – Perfil do ciclista brasileiro (2018)



Fonte: Adaptado de Mobilidade por Bicicleta. Autores: Banco Interamericano de Desenvolvimento e Ministério do Desenvolvimento Regional, Editora IABS 2021.

Um ciclista mediano pode atingir uma velocidade de 15 a 25 km/h e demanda uma faixa de ciclovia de 1,20m, o que inclui sua própria dimensão de 0,60m e as oscilações laterais de segurança de 0,30m para um lado e para o outro. As vias destinadas às bicicletas recebem diferente nomenclaturas a depender do nível de segregação em relação aos demais modais, conformando uma hierarquia entre rotas principais e secundárias para uso da bicicleta, conforme detalhado a seguir:

- **Ciclovias:** são espaços para a circulação exclusiva de bicicletas, segregadas de automóveis e pedestres, mediante a utilização de obstáculos físicos como calçadas, muretas ou meios-fios.

- **Ciclofaixas:** são as faixas situadas nas pistas de rolamento ou nas calçadas delimitadas por sinalização horizontal ou diferenciação de piso, sem a utilização de obstáculos físicos.

- **Faixas compartilhadas:** são aquelas para a circulação de dois ou mais modais, como bicicleta e pedestre ou bicicleta e veículo motorizado.

Nas vias locais e unifamiliares, as faixas compartilhadas são apropriadas devido ao baixo tráfego e baixa velocidade. Contudo, se a via contar com grandes edifícios, e assim maior volume de tráfego, a indicação será uma ciclofaixa. Nas vias coletoras, devido ao seu porte de atividades e tráfego, o recomendado é ciclofaixa, sendo aceita a faixa compartilhada a depender do volume de tráfego. Já nas vias arteriais, por serem geradoras de maior número de viagens com altas velocidades, devem ser implantadas ciclovias, sendo admitidas ciclofaixas. Outras estruturas relacionadas ao modal são os bicicletários ou estacionamentos de bicicletas.

Figura 10 – Representação gráfica de uma ciclovia

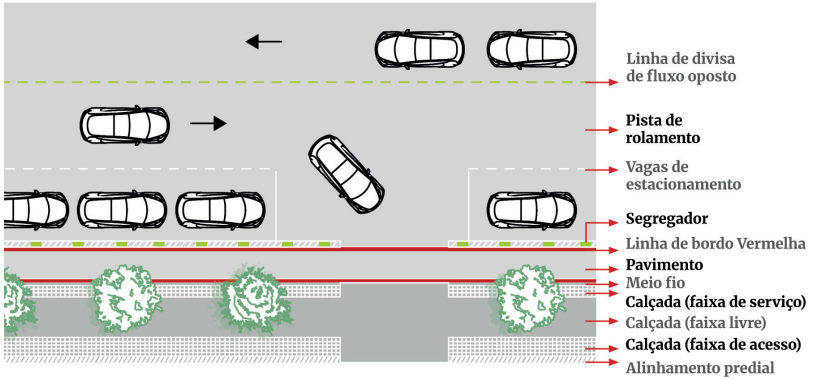


Ilustração: Leticia Evelyn

Ciclovias e ciclofaixas

A ciclovia é uma pista de uso exclusivo de bicicletas e deve ter a largura de 1,20m se for para um único ciclista e de 2,40m se for para dois ciclistas (seja bidirecional ou unidirecional), incluindo 0,60m no centro para que dois ciclistas possam pedalar lado a lado com conforto, como mostra a figura 11. Essas medidas podem variar de acordo com a natureza do tráfego da via onde a ciclovia está localizada, desde que a alteração máxima seja de 10% para mais ou menos.

Enquanto a ciclovia é uma via segregada para o modal bicicleta, a ciclofaixa é uma faixa da pista de rolamento, calçada ou canteiro reservada para bicicletas. É delimitada por sinalização como pinturas no chão, tachões ou tartarugas para separá-la das faixas de automotores, pois encontra-se no mesmo nível da pista de rolamento. Suas dimensões são as mesmas destinadas às ciclovias.

Box 6 – Fontes de normas sobre transporte cicloviário

- Ciclofaixas – Análise da legislação e das normas brasileiras, Marcos Feder (2005).
- Manual de Sinalização Urbana Espaço Cicloviário, Companhia de Engenharia de Tráfego (2020).

Figura 11 – Distâncias em ciclovias para dois ciclistas (unidirecional e bidirecional)

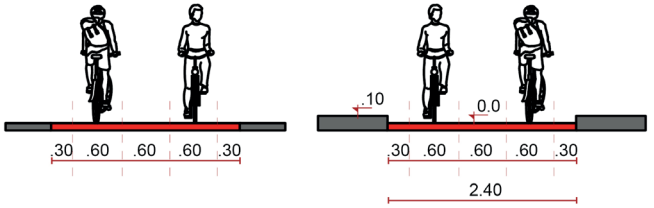


Ilustração: Leticia Evelyn.

Sua inclinação recomendada gira em torno de 4% a 5% no máximo assim como a rampas que poderá chegar a 10%. Nas travessias deve se prevê rampas que podem as utilizadas por pedestres em vias de pouco movimento e cuidado especial deve ser dado as grelhas das sarjetas de drenagem pois existem grelhas próprias que dão segurança ao ciclista.

Quadro 3 – Características físicas e de infraestrutura mínima para a construção de ciclovias e ciclofaixas

	Volume de tráfego (bicicletas/hora)	Largura efetiva
Ciclofaixa unidirecional	Todos	1,80m (externa)
		1,20m (interna)
Ciclovia unidirecional	Até 1000 bic/hora	De 2,00m a 2,50m
	De 1000 a 2500 bic/hora	De 2,50m a 3,00m
	De 2500 a 5000 bic/hora	De 3,00m a 4,00m
	Acima de 5000 bic/hora	Maior que 6,00m
Sobrelargura mínima		0,50m
Inclinação lateral máxima		2%
Raios de curva		3,00m a 5,00

Fonte: Adaptado do Plano Cicloviário integrado de Porto Alegre,2008

Vias compartilhadas

De acordo com o manual do TRB (1994), a largura ideal para a faixa compartilhada é de 4,20m, o que garante a ultrapassagem. Larguras inferiores fazem com que haja maior interferência e impactos entre veículos e bicicletas.

Quando não for possível a implantação de uma faixa compartilhada com essa largura, deve-se manter a faixa externa da pista com maior largura para a passagem de bicicletas.

As vias compartilhadas agregam valor ao espaço público e transformam a cidade em um local mais agradável, além de criarem espaços onde distintos grupos de usuários circulam. Elas são utilizadas em centros urbanos com alto volume de pedestres, em vias onde circulam poucos veículos e com velocidade baixa, e geralmente não possuem diferença de nível entre calçada e faixa de rolamento.

Figura 12 – Ilustração de uma via compartilhada

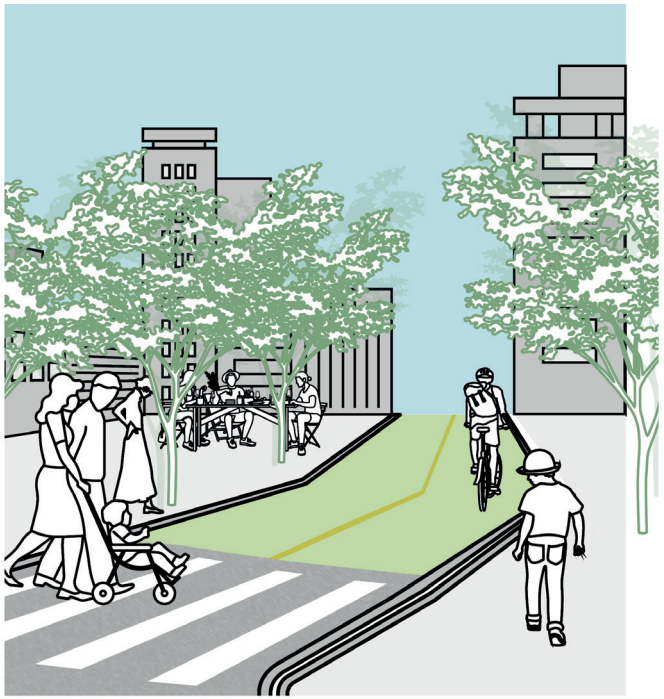


Ilustração: Leticia Evelyn.

Paradas de bicicletas

O uso das bicicletas como um modal urbano tem crescido no país à medida em que a infraestrutura cicloviária tem aumentado, mas ainda existem muitas melhorias de infraestrutura e de cultura de segurança a serem adotadas. Por exemplo, para viabilizar a integração da bicicleta com o transporte público, é preciso avançar em espaços de guarda das bicicletas nas duas pontas do sistema. Assim, soluções de desenho urbano destinadas a essa integração precisam contemplar desde estacionamentos até aluguéis de bicicletas perto de pontos com grandes volumes de deslocamento, como estações de metrô e paradas de ônibus. Outro aspecto fundamental é a adaptação de espaços na cidade para que se trafegue com bicicletas, como no caso de vencer uma escadaria.

Para o estacionamento, os bicicletários devem prever espaços de 0,60m por 1,80m para cada bicicleta e ter uma área livre de 1,50m para permitir manobras de entrada e de saída.

Figura 13 – Recurso para facilitar o deslocamento com bicicletas em escadaria

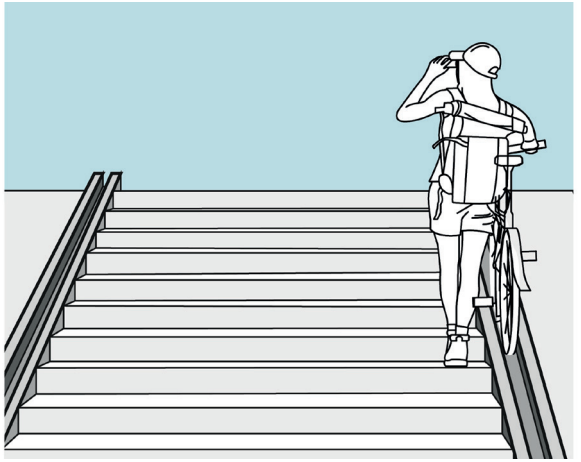


Ilustração: Leticia Evelyn.

Sinalização das vias

A sinalização desempenha o papel de ordenador do sistema viário dando segurança para o deslocamento das pessoas. Ela também está disciplinada no Código de Trânsito Brasileiro, Lei nº 9.503 de 1997, onde se destaca a necessidade de uso da linguagem direta e facilmente compreendida por todos os cidadãos usuários do sistema viário, independentemente da sua condição de condutor de veículo ou pedestre.

A sinalização é dividida em duas modalidades: vertical e horizontal. A vertical utiliza placas, de diversos tamanhos, instaladas em postes ou colunas ao lado das pistas ou sobre elas, transmitindo mensagens de caráter permanente ou variável. A sinalização horizontal utiliza linhas, marcações, símbolos e legendas pintadas ou apostas sobre o pavimento das vias e visam orientar o trânsito e estabelecer faixas de segurança de acordo com as velocidades permitidas em cada via. Ainda temos a sinalização semafórica para cruzamentos de maior trânsito, garantindo tempo a cada uma das vias e dos modais.

Figura 14 – Exemplo de sinalização vertical e horizontal



Ilustração: Leticia Evelyn.

Pavimentação

O projeto de pavimentação, que integra o projeto geométrico da via, deverá ser definido em função da classe da via, mas tendo em conta as características do meio físico como a declividade e o solo (subleito).

Nas vias coletoras e locais, quando a declividade não ultrapassar 15%, será dada preferência à pavimentação flexível. Acima disso, passa-se a usar pavimento rígido. Já nas vias locais deve-se dar preferência aos blocos de concreto, pedras ou outro tipo que seja flexível para gerar infiltração.

Ainda no projeto geométrico, deve-se realizar o dimensionamento da estrutura do pavimento apresentando as seções transversais para que fique clara a proposta de implantação das vias. Devem constar do projeto relatórios contendo memorial descritivo, justificativo, desenhos, memórias de cálculo e a planta geral, onde devem ser identificados os revestimentos propostos para a pavimentação das ruas e passeios.

Informações comuns em um projeto de pavimentação:

- Desenho das seções transversais de todas as soluções, contendo elementos técnicos como espessura de camadas, características dos materiais de base, sub-base, reforço de subleito etc.;

- Especificação dos materiais utilizados na pavimentação;

- Localização de sarjetas, calçadas, rampas e interferências com os projetos de saneamento, drenagem, entre outros;

- Planta geral com o sistema viário proposto e a classificação das vias segundo sua tipologia, prevendo acesso às edificações e identificando o sistema viário já existente.

5.3 Características do meio físico e suas implicações no projeto viário

Um projeto de sistema viário deve considerar características topográficas, hidrográficas e geotécnicas da região, conforme detalhamento a seguir.

5.3.1 Topografia

O levantamento topográfico constitui um estudo prévio essencial para realizar o projeto de parcelamento de tal forma que se preveja as vias em suas diferentes classes (arterial, coletora e local), em conformidade com o sítio, garantindo segurança ao tráfego de veículos automotores e viabilidade de deslocamento para o maior fluxo de pedestres em cada uma das vias. Além da segurança de trânsito, a topografia irá interferir na drenagem. Como regra geral, deve-se escolher a posição e a direção de todas as ruas de forma a ter declividade suficiente para escoar as águas da chuva, mas sem chegar a cortar as curvas de nível, o que levaria a grandes declividades com riscos de erosão. Outra máxima é procurar menores alterações nas curvas de nível para gerar menos cortes, o que torna mais econômico, estável e agradável na paisagem.

Declives e as diferentes classes de vias

Os sítios que possuem inclinações entre 2% e 7% são considerados ideais por parecerem planos e terem bom escoamento das águas, podendo acomodar qualquer classe de via. As inclinações de 8% a 15% não devem ser adotadas em vias arteriais, ficando destinadas a coletoras e locais. Estas vão exigir cortes e aterros para que ocorra a manutenção do greide da via (nível), além de um exercício de urbanismo para que as cotas de soleira das edificações fiquem coordenadas com as calçadas, evitando osbstáculos aos pedestres. Por sua vez, as inclinações de 16% a 30% devem ser evitadas por constituírem obstáculos a veículos e pedestres. Mais de 30%: são terrenos inadequados, vetados pela Lei Federal de Parcelamento Urbano nº 6.766/79 e suas alterações, para construções e uso, mesmo que recreativo. Muitas vezes demandam obras especiais para sua estabilização.

Uma maneira simples de entender como se calcula ou identifica a inclinação de uma rampa em relação à horizontal é por meio da sua declividade, isto é, da tangente do seu ângulo de inclinação. Uma rampa de 10°, por exemplo, é referida pela tangente de 10º, que é aproximadamente 0,18 ou 18%, sendo que na terminologia dos manuais técnicos esta declividade denomina-se como inclinação percentual. Em uma rampa inclinada por 10º, sobe-se cerca de 18m para cada 100m de deslocamento horizontal. Sabendo disso, fica claro que não é possível ter uma rua com tal declividade, pois implicaria em um desnível equivalente a mais de quatro andares em uma extensão de 100 metros.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) recomenda inclinações máximas de 5% em vias expressas e de 9% em vias secundárias. A razão para esses percentuais encontra respaldo na velocidade que os automóveis e, principalmente, os caminhões conseguem manter nos aclives. Por sua vez, sítios com menos de 2% de declividade não constituem dificuldade de tração aos veículos, mas dificultam o escoamento da água, que tende a empossar, podendo resultar em risco de derrapagem dos veículos.

Figura 15 – Veículo subindo uma rampa

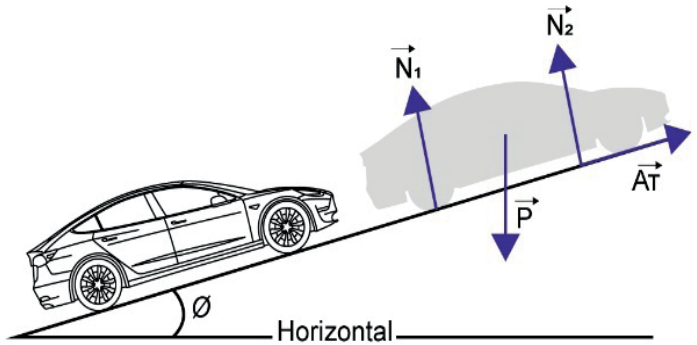


Ilustração: Leticia Evelyn.

Figura 16 – Representação de rua muito inclinada

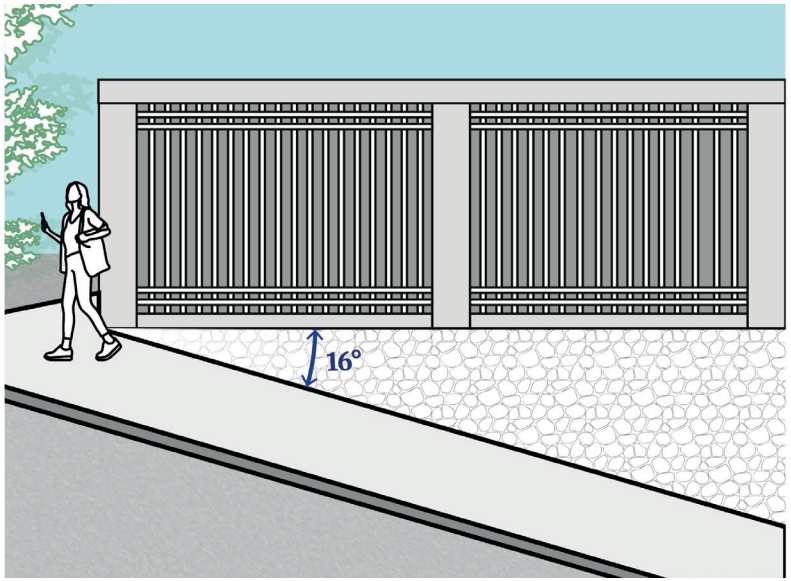


Ilustração: Leticia Evelyn.

Por não existir uma definição sobre inclinações viárias em norma federal, a seguir é apresentado um quadro adaptado de um manual da cidade de São Paulo.

Quadro 4 – Características geométricas das vias

Classificação	VDM	Largura da faixa (m)	Largura dos passeios (m)	Raios mínimos de curva (horiz.) (m)	Rampa máxima %	Gabarito vertical O.A.E. (m)	Classificação conforme lei do uso do solo
Via arterial principal ou expressa	>10.000	3,50-3,60	3,50	200 + (transição)	6%	5,50	Via expressa
Via arterial	5,001 ≥ 10,000	3,50	3,50	110	8%	4,50	Via expressa
Via coletora principal	1501 a 5000	3,00-3,50	2,50	50	10%	4,50	Via principal
Via coletora secundária	401 a 1500	3,00	2,50	50	12%	4,50	Via principal
Via local residencial com passagem	100 a 400	2,70-3,50	1,50-2,00	20	15% (*)	4,00	Via local
Corredor de ônibus	<500 >500	3,50	- -	- -	10% 8%	4,50 4,50	

Notas:

(1) As dimensões básicas indicadas no Quadro foram ajustadas.

(2) Conforme especificações do Código Nacional de Trânsito.

(3) Rampa máxima, em tangente, para caminhões leves de até 16 t (160 KN).

(4) Vias oficiais estritamente locais, com Cadlog e arruamento aprovado, já implantadas, possuindo rampas superiores a 15% e até o limite de 24% poderão, excepcionalmente, ser pavimentadas pela PMSP, com pavimentação compatível com a declividade da via, a ser definida pelo projeto.

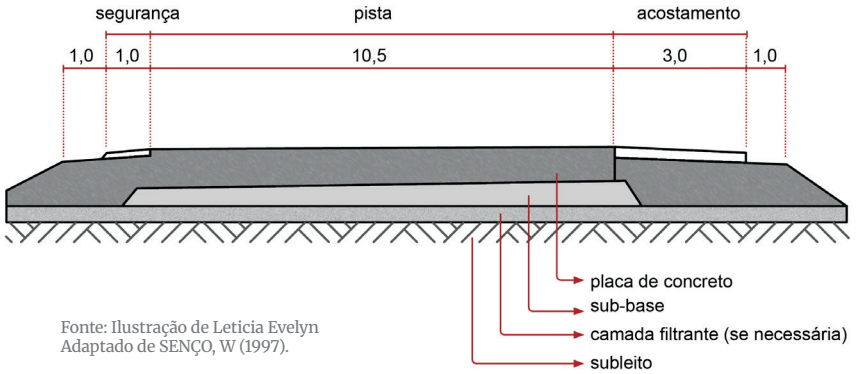
Fonte: Adaptado de manual de projeto geométrico de travessias urbana s, DNIT,2010

De qualquer forma, por mais que se tente acomodar o sistema viário à topografia, sempre se fará necessário um projeto de terraplanagem com o objetivo de definir o volume de cortes e aterros necessários para estabelecer o greide e a articulação entre o sistema viário e as edificações. Esse tipo de projeto é desenvolvido junto com o projeto geométrico, tendo em conta o levantamento topográfico e as informações hidrológicas. Deverá apresentar todos os elementos necessários à implantação da plataforma de terraplanagem, definindo seções transversais em cortes e aterros, localização, determinação e distribuição dos volumes de materiais a serem movimentados.

5.3.2 Geologia

O estudo de geologia compreende as sondagens e ensaios geotécnicos com o objetivo de definir os parâmetros necessários ao desenvolvimento e detalhamento dos projetos viários (terraplanagem e pavimentação), obras de contenção, obras de arte (viadutos, por exemplo) e outras. Não se pode esquecer que existem solos mais propícios a receberem carga do que outros, e essa característica deve ser considerada quando do lançamento do sistema viário, pois implicará em custos maiores ou menores com compactação, leito, sobreleito e, por fim, com o revestimento.

Figura 17 – Seção transversal típica (pavimento rígido)



Fonte: Ilustração de Leticia Evelyn
Adaptado de SENÇO, W (1997).

5.3.3 Hidrografia

Em conjunto com a topografia, as características hidrográficas definem as inclinações do sítio e, por conseguinte, influem nas definições do sistema viário. Em conjunto com a geologia, ela auxilia na obtenção de menor custo de construção, com reflexos na compactação de leitos e subleitos, determinando o tipo de pavimentação ideal para sua durabilidade e segurança.

Acima de tudo, a hidrografia se relaciona com a drenagem, pois não existe projeto viário sem concepção da drenagem superficial (que integra a própria via, como meio-fio, sarjetas e sargetões) e da drenagem subterrânea (que fica sob a via e direciona as águas por meio das bocas de lobo). Isso se estiver sendo considerado um modelo tradicional de drenagem, lembrando que existem alternativas como o sistema de infiltrações e a drenagem sustentável, que leva à discussão sobre vários elementos de infraestrutura verde abordados no capítulo 6.

Um sistema de drenagem viária bem concebido, construído e conservado pode reduzir o número de acidentes e aumentar a durabilidade do pavimento, dos elementos estruturais e dos taludes de corte e aterro.

Referências – Capítulo 5

AASHTO – Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes. *A policy on geometric design of highways and streets.* 2004.

AASHTO – Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes. *Guide for the development of bicycle facilities.* 1999.

AASHTO – Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes. *Guide for the planning, design and operation of pedestrian facilities*. 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sistema Viário Nacional na Modalidade Rodoviária. 1976.

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento; MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. Mobilidade por bicicleta. Brasília: Editora IABS, 2021. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1XeKOTdUA4Wf-p814wCjbvtZWADi8cNNI/view. Acesso em: 22 abr. 2024.

CERVERO, Robert; SUZUKI, Hiroaki; IUCHI, Kanako. *Transforming cities with transit: transit and land-use integration for sustainable urban development*. Washington: The World Bank, 2013. Disponível em: http://hdl.handle.net/10986/12233. Acesso em: 22 abr. 2024.

CETSP – Companhia de Engenharia de Tráfego. Manual de sinalização urbana: espaço cicloviário. São Paulo, 2020. Disponível em: https://www.cetsp.com.br/media/1100702/MSU-Vol-13-Espaco-Cicloviario-Rev01.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

COSTA, M. da S. Um índice de mobilidade urbana sustentável. 2008. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Normas para projeto de vias urbanas. 1974.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de projeto geométrico de travessias urbanas. Rio de Janeiro, 2010. 392 p. (IPR. Publ., 740).

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Highway capacity manual*. TRB, 2000.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Highway functional classification: concepts, criteria, and procedures.* 1989.

GENTIL, C. D. A. A contribuição dos elementos da forma urbana na construção da mobilidade sustentável. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

GONDIM, Monica. Cadernos de desenho: ciclovias. 2010. Disponível em: https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2010/01/24%20-%20BRASIL_Caderno%20de%20Desenho_Ciclovias.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

ITDP – Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento. Princípios do desenvolvimento orientado por transportes. 2014. Disponível em: https://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2014/11/ITDP-Brasil_Folder-TOD_em-PT_vers%C3%A3o-WEB.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

KNEIB, Érika Cristine. Projeto e cidade: centralidades e mobilidade urbana. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Manual para apresentação de propostas – Programa Mobilidade Urbana. Brasília, 2007. Disponível em: http://44.217.41.240/wp-content/uploads/2013/10/Manual_de_Mobilidade_Urbana_do_Ministerio_das_Cidades.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

MINISTÉRIO DAS CIDADES; ITDP – Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento. Caderno 2: parâmetros referenciais – qualificação da inserção urbana. Brasília, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/publicacoes/arquivos/arquivos/caderno2parametrosreferenciais.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

NEUMAN, M. *The compact city fallacy. Journal of Planning Education and Research*, v. 25, 2006. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0739456x04270466. Acesso em: 22 abr. 2024.

PIETRANTONIO, Hugo. Organização do sistema viário. Notas de aula – Capítulo 2. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, [s.d.]. Disponível em: http://sites.poli.usp.br/d/ptr2377/Capítulo2a.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. Plano diretor cicloviário integrado de Porto Alegre: relatório final. Porto Alegre, 2008.

ROGERS, R.; GUMUCHDJIAM, P. Cidades para um pequeno planeta. 1. ed. Barcelona: Gustavo Gilli, 2001.

RUEDA, S. *Modelos de ordenación del territorio más sostenibles.* 2002. Disponível em: http://habitat.aq.upm.es/boletin/n32/asrue.html#3. Acesso em: 22 abr. 2024.

SENÇO, Wlastermiler de. Manual de técnicas de pavimentação. São Paulo: Pini, 1997.

VALDÉS, A. *Ingeniería de tráfico*. 3. ed. Madrid: Bellesco, 1988.



6

Drenagem Urbana: As alterações do ciclo hidrológico decorrentes da urbanização



Entre os impactos da urbanização sobre a natureza, aqueles referentes ao ciclo hidrológico se destacam por sua relevância no funcionamento da cidade. A drenagem é uma das infraestruturas que possui como função minimizar um desses impactos, o aumento do escoamento superficial, ou seja, a quantidade de água que se acumula na cidade devido à não infiltração resultante do excesso de impermeabilização do solo. Entretanto, apesar de ser majoritariamente voltado às águas pluviais, o sistema de drenagem visa, ainda, escoar as águas residuais, águas utilizadas nas cidades para diversos usos e que são lançadas nos espaços públicos ou na rede de drenagem. Por isso, é possível ver águas nas tubulações de drenagem fora dos períodos de chuva. Também é por isso que o sistema recebe o nome de Sistema de Drenagem de Águas Pluviais e Residuais.

Por sua vez, o ciclo hidrológico é o movimento contínuo da água entre a atmosfera, a superfície terrestre, o solo, as águas subterrâneas e as plantas. Ele possui como etapas a evaporação, a condensação e as chuvas que, ao caírem no solo, precisam ser infiltradas para alimentar plantas e lençóis freáticos para formar as águas subterrâneas e escoar para contribuir com as águas superficiais. A ciência que estuda o assunto é a hidrologia que, por sua vez, se dedica também à drenagem.

Figura 1 – Elementos de uma bacia hidrográfica

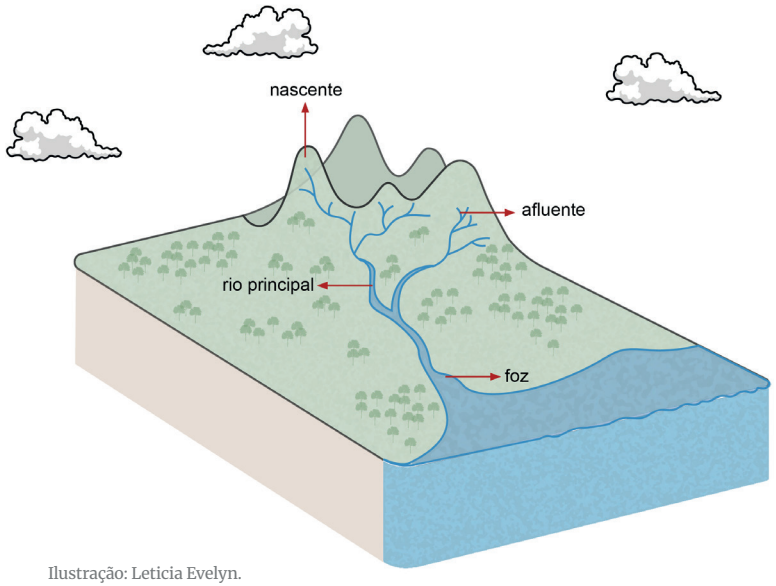


Ilustração: Leticia Evelyn.

O escoamento superficial é bem entendido quando se explica o que vem a ser a drenagem natural. Na natureza, a precipitação que não se infiltra tende a formar caminhos naturais (grotas ou ravinas) de acordo com a intensidade e a frequência da precipitação, cobertura vegetal e a resistência do solo à pressão das águas. Esses caminhos constituem a drenagem natural e no percurso até as partes mais baixas, onde se encontram os cursos d'água (rios), vão recarregando os aquíferos. Esse processo ocorre em sintonia com a vegetação que cria rugosidade e faz diminuir a velocidade da água que, dessa forma, não gera erosão no solo e leva mais tempo para chegar às partes baixas. Tal encadeamento dá tempo para que a água infiltre no solo fazendo chegar aos cursos d'água somente uma quantidade capaz de ser absorvida pela vazão do rio.

Esse ciclo é alterado quando se introduz a impermeabilização e desmatamentos para a construção de edificações e vias, por exemplo. Você pode perguntar: mas não existem enchentes naturais? Sim. As cheias naturais podem acontecer, mas com períodos de retorno mais ou menos longos e são passíveis de alguma previsibilidade meteorológica, pois têm uma ocorrência temporal cíclica e limites de máxima relativamente conhecidos. Assim, existem margens de rios cuja frequência com que podem ocorrer enchentes é conhecida, e essas áreas não devem ser ocupadas.

Nas cidades, é comum ocorrerem enchentes e inundações em áreas que não deveriam ter sido instaladas edificações com alta densidade e impermeabilização. Essas são causas de inundações com prejuízos humanos maioritariamente provocadas por causas artificiais, ou seja, o excesso de escoamento superficial das áreas mais altas que não encontram nos rios a vazão suficiente para seu recebimento.

Box 1 – O que é calha do rio, enchente inundação e alagamento montante e jusante

Calha do rio	Situação normal do leito de um rio, sua estrutura natural que pode ser ocupada por um leito d'água
Enchente	Também conhecia como cheia é o aumento temporário do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem transbordamento
Inundação	É o transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo as áreas marginais (planície de inundação ou área da várzea)
Alagamento	É o acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos, por problemas de drenagem
Montante	Ponto mais alto ao longo do curso d'água
Jusante	Ponto mais baixo ao longo do curso d'água

Figura 2 – Diagrama das condições dos cursos d'água na cidade



Ilustração: Leticia Evelyn.

É relevante conhecer termos que são bastante utilizados nos estudos de drenagem quando nos referimos a um curso d'água ou mesmo a uma bacia horográfica, como: (i) montante, que é o ponto localizado acima, por exemplo a nascente de um rio é seu ponto mais alto; e (ii) jusante, que é o ponto mais abaixo, sendo um exemplo a foz de um rio.

Figura 3 – Representação de montante e jusante

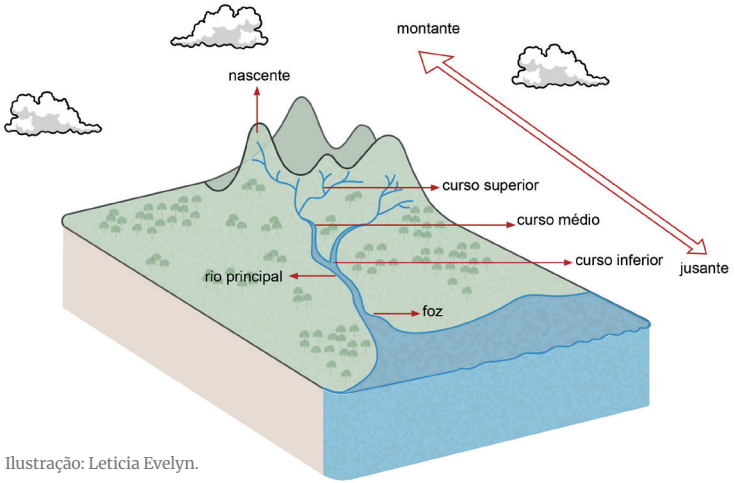
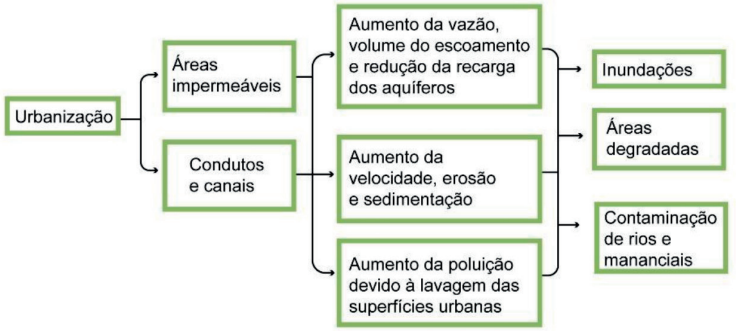


Ilustração: Leticia Evelyn.

Geralmente, as inundações decorrem de alterações da cobertura do solo em áreas a montante da bacia hidrográfica com reflexos a jusante. A esse efeito se somam a erosão do solo pela velocidade das águas, que carregam sedimentos para as partes baixas e levam ao assoreamento dos corpos d'água. Sua consequência é a perda de biodiversidade e poluição, pois junto com o solo sempre estão os resíduos sólidos que porventura estejam no caminho das águas. No gráfico a seguir é apresentada uma síntese desses efeitos.

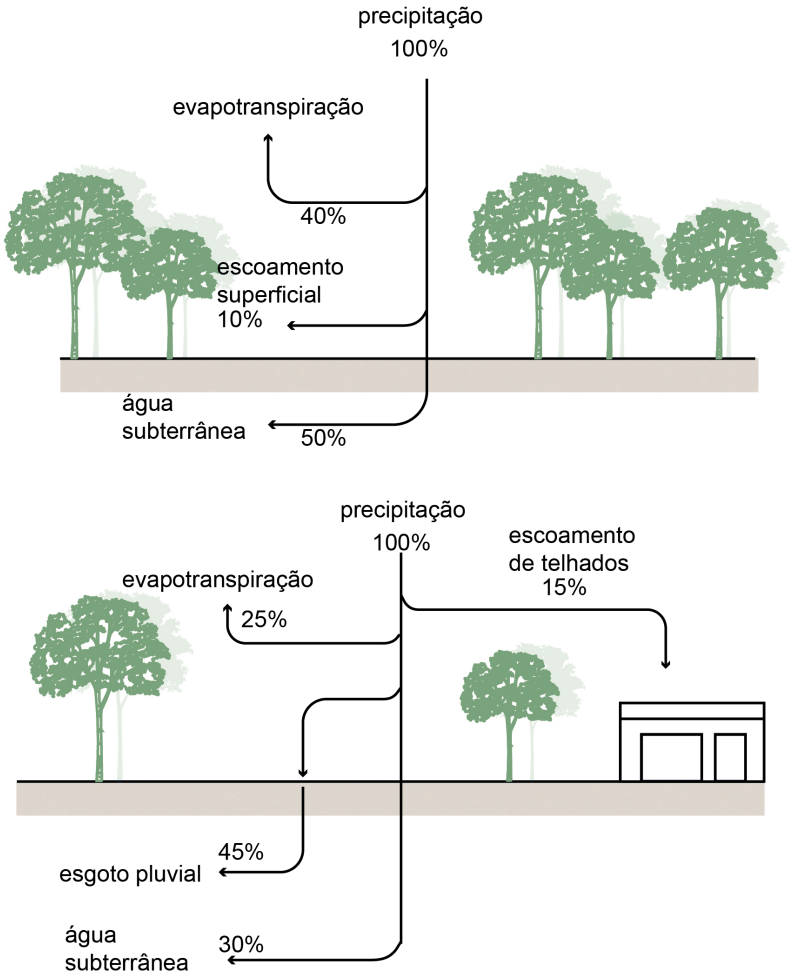
Gráfico 1 – Relações entre causas e efeitos na drenagem urbana



Fonte: Produção da autora.

A figura 3 mostra como a ocupação urbana tradicional pode transformar as taxas naturais de infiltração pluvial superficial de 25% para 10% e de infiltração pluvial em profundidade de 25% para 5%, traduzindo-se em uma alteração global de 50% para 15% de taxa de infiltração. Essa representação mostra como a infiltração reduzida se traduz na incapacidade de abastecer lençóis freáticos que possam servir como recurso para a cidade (o serviço ecossistêmico de provisão de água).

Figura 4 – Efeito da urbanização no comportamento hidrológico



Fonte: Ilustração de Leticia Evelyn. Adaptado de EPA (2000)

Sobre a relação entre padrões urbanos e áreas impermeabilizadas, destacam-se estudos como os de PSAT & WSU 2005, segundo os quais em áreas residenciais de baixa densidade as superfícies impermeáveis, em geral, não abrangem mais de 20% do total da área ocupada, sendo a malha viária a principal responsável pela impermeabilização. Por outro lado, em áreas mais densamente povoadas e em bairros comerciais ou industriais, esta proporção pode atingir entre 60% e 80% da área ocupada, sendo telhados e estacionamentos os maiores contribuintes pelo acúmulo de poluentes de deposição atmosférica e emissões veiculares.

Em outro estudo, Kelling e Peterson (1974) avaliaram as diferenças de infiltração entre áreas urbanas verdes, comparando as que possuem gramíneas e extrato arbóreo. Foi constatado que o fenômeno da compactação do solo reduz igualmente a infiltração das águas, onde se pode concluir que não só as áreas com gramíneas apresentam menores taxas de infiltração do que áreas com extrato arbóreo, mas que no meio urbano essas áreas encontram-se normalmente associadas às áreas onde houve um perturbação do solo e onde há maior potencial para continuação dessa compactação por meio de atividades diárias. Assim, além de as espécies gramíneas possuírem naturalmente uma taxa máxima de entrada de água no solo menor do que espécies arbóreas, elas exercem um papel menos significativo na recuperação da permeabilidade dos solos compactados, já que suas raízes são pouco profundas, não permitindo maior interação com o solo compactado.

Antes de adotar qualquer solução para enfrentamento do aumento do escoamento superficial deve-se saber que ele decorre da impermeabilização e seguir para duas alternativas: (i) definir uma ocupação do solo que minimize a impermeabilização; e (ii) calcular o escoamento para dimensionar as formas de encaminhar

as águas para infiltração e/ou para o curso d'água que possa recebê-las sem gerar impactos negativos no ecossistema.

6.1 Medidas de controle da drenagem: estruturais e não estruturais

São denominadas medidas de controle da drenagem as formas de abordar os efeitos anteriormente descritos. Elas podem se dar por meio de dois caminhos principais: medidas estruturais e não estruturais.

Medidas não estruturais: regulação de controle dos potenciais impactos que podem ser gerados nas formas de uso e ocupação da cidade. Destacam-se:

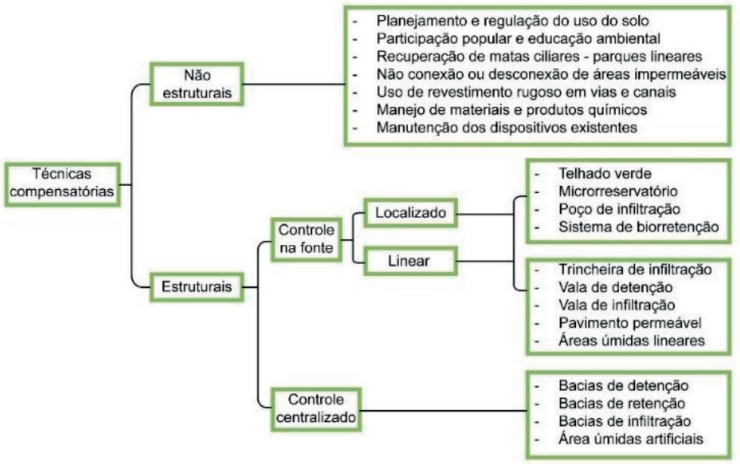
I. Legislação sobre formas de ocupação que minimizem e/ou previnam o aumento do escoamento e/ou levem à sua infiltração;

II. Ações de gestão urbana como publicação de manuais técnicos que incentivem a elaboração de projetos de drenagem que priorizem a infiltração;

III. Implantação de programas voltados ao monitoramento, recuperação de áreas degradadas, capacitação e ações informativas.

Medidas estruturais: atuam sobre os efeitos, ou seja, tentam controlar o escoamento superficial gerado. Destacam-se os modelos de drenagem denominados tradicionais e sustentáveis, cada um com seu conjunto de elementos que irá resultar em obras específicas para controle do escoamento.

Gráfico 2 – Medidas de controle de drenagem



Fonte: Produção da autora.

Entenda-se por fonte o local onde a água da chuva cai, ou seja, no lote ou no espaço público. Tendo em conta que a maior parte da área de uma cidade é formada por lotes, quando se fala em fonte estamos nos referindo quase sempre ao lote. O objetivo das medidas de controle do escoamento na fonte é o de propiciar soluções para o destino da água quando ela inicia o escoamento, não deixando se avolumar, reduzindo e retardando escoamentos que ocorreram no espaço público. Essas medidas podem ser basicamente de dois tipos: dispositivos de armazenamento no lote, que retardam o escoamento para uma posterior liberação na rede de drenagem fora do horário do pico da chuva; e/ou dispositivos que promovam a infiltração no lote.

As bacias de retenção no espaço público, de preferência na escala das quadras ou conjuntos residenciais e dentro dos lotes para o reuso em atividades que não demandam água potável, são exemplos de controle na fonte.

Também podem-se ter bacias de infiltração que não só retêm, mas proveem infiltração e, assim, recarregam os lençóis freáticos. Os pavimentos porosos, trincheiras de infiltração e valas gramadas, que tanto podem ser internas aos lotes como nos espaços públicos e visam à infiltração. Essas soluções podem ser entendidas como controle na fonte. Por outro lado, as grandes bacias de retenção, comuns no sistema tradicional como parte da macrodrenagem, não são dispositivos de controle na fonte, pois recebem águas que já escoaram pela cidade e chegaram a essas bacias já próximas do seu lançamento final em cursos d'água.

6.2 Como calcular o escoamento superficial: coeficiente de escoamento e hidrogramas

Para implantação das medidas estruturais, é fundamental saber como calcular o escoamento superficial que determinado tipo de ocupação do solo gera. Já foi dito que o escoamento superficial é determinado pelo grau de impermeabilidade que decorre tanto do uso do solo como do tipo de solo. Para efeito de um projeto de drenagem, deve-se calcular o Coeficiente de Escoamento Superficial para iniciar o dimensionamento dos vários elementos de drenagem, sejam tradicionais ou sustentáveis.

O coeficiente de escoamento superficial também é denominado de Coeficiente de Deflúvio ou de *runoff* e decorre da razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado (chuva). Para utilizar um valor confiável, o projeto deve considerar um período relativo a um intervalo de tempo em que várias chuvas ocorreram.

Existem vários métodos de cálculo que consideram as especificidades de cada região, mas uma forma mais eficiente consiste na utilização da tabela elaborada pelo *Soil Conservation Service* (SCS), dos Estados Unidos da América, como parte do método denominado de *Curve Number* (CN). Esse método é bastante utilizado no Brasil apesar de ser um volume aproximado de escoamento superficial em um evento de chuva.

O modelo matemático Curva-número (CN), utilizado no *Soil and Water Analysis Tool* (SWAT), estabelece diferentes valores para a curva média de infiltração da água. Eles variam de 0 (solo muito permeável) até 100 (solo completamente impermeável), de acordo com cenários de ocupação do solo. Além do tipo de superfície e do uso do solo, o valor de CN nesse modelo também depende das condições antecedentes de umidade, podendo variar entre: (i) solos secos; (ii) solos cuja umidade corresponde à capacidade de campo; e (iii) solos quase saturados (GONÇALVEZ, 2012).

Em relação às características hidrológicas do solo, essas podem variar entre: (a) solos com alta taxa de infiltração, superior a 7,62mm/h, como areias e cascalhos; (b) solos com moderada taxa de infiltração, que varia entre 3,81 e 7,62 mm/h; (c) solos com baixa taxa de infiltração, que varia entre 1,27 e 3,81mm/h; e (d) solos com muito baixa taxa de infiltração, inferior a 1,27 mm/h (GONÇALVEZ, 2012). Para maior ajuste, deve-se fazer o enquadramento do tipo de solo da região estudada.

No caso da cidade já consolidada é fácil determinar o tipo de uso do solo. Nas áreas a serem ocupadas, deve-se verificar no Plano Diretor da cidade a previsão de uso do solo e seus parâmetros de ocupação. Quanto à umidade dos tipos de solos, essa informação pode ser obtida na Embrapa, por exemplo, ou em outros órgãos que trabalham com o estudo da geologia. De pose desses dados, pode-se utilizar as tabelas de CN do SCS.

Tabela 1 – Valores de CN para áreas urbanas segundo a condição de umidade antecedente e o tipo hidrológico de solo

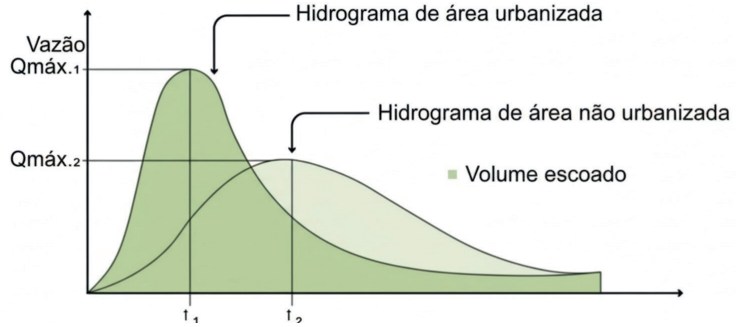
Tipo de cobertura do solo em áreas urbanas	Valores de CN			
	Alta TI	Moderada TI	Baixa TI	Muito Baixa TI
Espaços abertos (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.) com menos de 50% de grama*	68	79	86	89
Espaços abertos com 50 a 75% de grama*	49	69	79	84
Espaços abertos com mais de 75% de grama*	39	61	74	80
Superfícies impermeáveis (estacionamentos, estradas, telhados, calçadas)	98	98	98	98
Estradas e calçadas pedregulhadas	76	85	89	91
Estradas e calçadas de terra	72	82	87	89
Zonas comerciais com 85% de superfícies impermeáveis	89	92	94	95
Zonas industriais com 75% de superfícies impermeáveis	81	88	91	93
Zonas residenciais com lotes de 500m² e 65% de superfícies impermeáveis	77	85	90	92
Zonas residenciais com lotes de 1000m² e 38% de superfícies impermeáveis	61	75	83	87
Zonas residenciais com lotes de 1300m² e 30% de superfícies impermeáveis	57	72	81	86
Zonas residenciais com lotes de 2000m² e 25% de superfícies impermeáveis	54	70	80	85
Zonas residenciais com lotes de 4000m² e 20% de superfícies impermeáveis	51	68	79	84
Zonas residenciais com lotes de 8000m² e 12% de superfícies impermeáveis	46	65	77	82
Área recentemente urbanizada, mas ainda sem construções (somente solo exposto, sem vegetação) *	77	86	91	94

Fonte: Adaptado de GONÇALVEZ (2012).

A representação do escoamento se faz por meio de gráficos denominados hidrogramas. Eles relacionam a vazão e o tempo de escoamento, sendo a ordem de grandeza em m3/s ou l/s. Esses gráficos são muito ilustrativos e expressam a interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica. As características mais importantes de um hidrograma são: vazão de pico, tempo para o pico, tempo de base e duração da chuva efetiva. Já os fatores que influenciam o escoamento superficial em áreas urbanas são: tipos de vegetação, tipo de solo, condições topográficas, ocupação e uso do solo.

Para a leitura de um hidrograma deve-se entender que após o início da chuva existe um intervalo de tempo até o nível começar a elevar-se. Este tempo deve-se às perdas iniciais por interceptação vegetal e depressões do solo, além do próprio tempo de deslocamento da água até chegar aos canais receptores. O hidrograma atinge o máximo (pico) e depois vai se normalizando até o ponto de inflexão. Este ponto caracteriza o fim do escoamento superficial e a predominância do escoamento subterrâneo. Tendo em consideração o caso de solos altamente impermeabilizados (centros urbanos) e solos florestados (mais próximos do natural), tem-se o maior pico e concentração de água escoada nas cidades e o menor, com melhor distribuição ao longo do tempo, nas áreas florestadas.

Gráfico 3 – Hidrogramas de saída da bacia



Fonte: Ilustração de Leticia Evelyn, esquema exemplificativo a partir de dados disponíveis em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mdu_versao01.pdf

De posse desses conceitos, você já entendeu (i) como a urbanização altera a drenagem natural formando um novo sistema constituído por lotes quase totalmente cobertos por edificações, vias pavimentadas e espaços públicos com pouca vegetação por onde as águas não infiltram e lavam as superfícies, transportando poluentes gerados pelas emissões de carros, caminhões ônibus, indústrias etc.; (ii) que as normas de ocupação do solo e as opções de desenho urbano podem favorecer ou não a infiltração das águas solo; e (iii) que para amparar a elabora do projeto urbano existem métodos que simulam a quantidade de água de escoamento a ser gerada para cada arranjo espacial.

Ainda é pertinente saber que a drenagem pode ter elementos superficiais e subterrâneos que integram o sistema viário, como o meio fio, a sarjeta e as bocas de lobo, ou a paisagem, como valas, drenos, bacias e jardins de chuva, que são superficiais, e as galerias e poços de visita que integram a denegam canalizada e subterrânea.

Na sequência, iremos debater as abordagens de drenagens mais utilizadas: uma mais antiga e tradicional, que está presente em quase todas as cidades, e outra mais recente, a drenagem sustentável, que procura mitigar as alterações produzidas no ciclo hidrológico promovendo a infiltração.

6.3 Modelos tradicionais de drenagem

Os sistemas de drenagem urbana de águas pluviais e residuais que conhecemos foram desenvolvidos e implantados a partir da segunda metade do século XIX. As primeiras cidades a adotarem esses sistemas em ampla escala eram inglesas, francesas e algumas americanas, muitas das quais possuem o mesmo sistema até hoje. Porém, se fizermos uma leitura histórica vamos encontrar sistemas de drenagem de águas pluviais em cidades ou ruínas do período anterior à era cristã, como os usados pelos persas e gregos. Também redes implantadas pelos romanos podem ser observadas ainda hoje, com pequenos trechos ainda em funcionamento. O mesmo ocorre em ruínas de cidades construídas pelos povos pré-colombianos, em diferentes países da América Latina. Deve-se dizer que essas soluções se referiam a áreas bastante restritas e, muitas vezes, combinavam todas as infraestruturas em uma única instalação. A lógica que se tem hoje para os sistemas tradicionais não é resultante desses modelos históricos, mas da Revolução Industrial, ocorrida no fim do século XVIII e início do XIX. Importa registrar que esses modelos sofreram ajustes à medida em que problemas de segurança e salubridade surgiram.

6.3.1 Sistema unitário e separador

Os primeiros sistemas de drenagem tinham como fundamento o princípio da capacidade de autodepuração das águas, ou seja, que lançada uma quantidade de dejetos em um curso água esse se recupera pela oxigenação das águas ocorrida naturalmente.

Partindo dessa ideia, foi implantado o sistema unitário, que consiste na existência de uma única rede para coletar o esgoto e a água de drenagem. Esse sistema existe até hoje em partes de algumas cidades impactadas pela Revolução Industrial. Nesse caso, o volume lançado nos rios era muito grande, pois somava as chuvas ao esgoto. Além disso, a ausência de tratamento prévio levou à poluição dos rios das grandes cidades da época, como Londres, Manchester, Liverpool e Paris.

Como correção das catástrofes ocorridas com ratos, doenças e mal cheiro, no fim do século XIX foi criado o sistema separador, passando a existir uma rede para a drenagem e outra para o esgoto.

Figura 5 – Representação dos sistemas unitário e separador

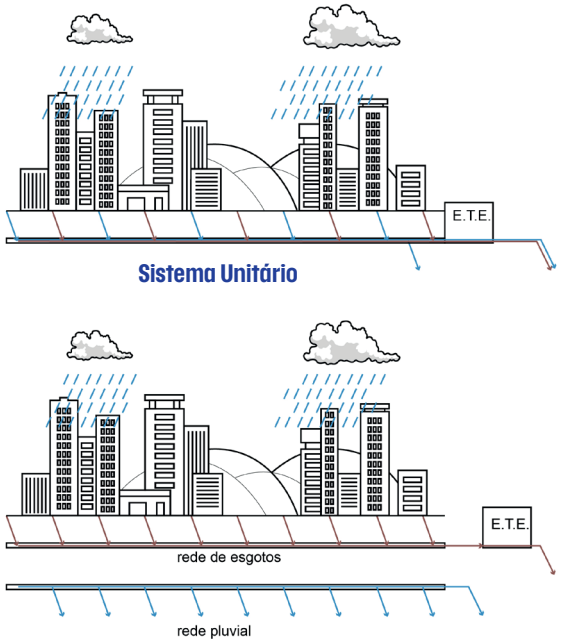


Ilustração: Leticia Evelyn

Box 2 – O sistema separador de esgotos

O sistema separador de esgotos foi criado em 1879 por George Waring e instalado pela primeira vez na cidade de Memphis, no Tennessee, nos Estados Unidos.

6.3.2 Escoamento rápido: objetivo inicial do sistema de drenagem

O que denominamos na atualidade de sistema de drenagem tradicional é o sistema separador, que também visa apresentar solução para correção dos possíveis pontos críticos de alagamento com intervenções constituídas de canalizações com partes superficiais e outras subterrâneas.

Fruto da especialização do conhecimento, esse sistema passou a pertencer ao campo da hidrologia, sendo descolado das soluções de urbanismo sobre o uso e a ocupação do solo. A hidrologia considera o nível de impermeabilização do solo, definido pelo urbanismo, e dimensiona as tubulações considerando o hidrograma gerado. Com isso, o sistema é pensado para um contexto de uso do solo, que possui determinada configuração espacial, e gera determinada vazão de escoamento. É o retrato de um momento da cidade (que é dinâmica). Quando ocorrerem alterações nas ocupações do solo, o sistema ficará obsoleto, pois a rede não mais dará vazão às águas do escoamento que terão aumentado com a maior impermeabilização do solo. A rede de drenagem tradicional é estática e, se fosse pensada em conjunto com o urbanismo, a própria paisagem poderia desempenhar um papel na drenagem, mas esse assunto será retomado mais adiante, quando se discutirá as alterações do modelo tradicional.

Assim, a prática tradicional em projetos de drenagem

urbana visa evitar os alagamentos dentro da cidade, promovendo a rápida evacuação das águas. Pode-se dizer que uma localidade com bom sistema de drenagem, na perspectiva tradicional, seria aquela que logo após uma grande chuva a água rapidamente escoa para as galerias sendo lançada, na maioria das vezes, a quilômetros de distância de onde a chuva ocorreu. Escoar rápido é um indicador de eficiência.

6.3.3 Descrição do sistema de drenagem tradicional

Para efeito de concepção do projeto de um sistema de drenagem tradicional, o primeiro passo é definir a bacia de drenagem, ou seja, a área da cidade que, por sua topografia, contribuirá para o escoamento superficial. Na sequência, deve-se calcular o volume do escoamento, que é condicionado pelo uso do solo e resulta nas dimensões das estruturas de drenagem, escolha de materiais e do ponto de lançamento das águas dentro da bacia hidrográfica.

Figura 6 – Representação topográfica

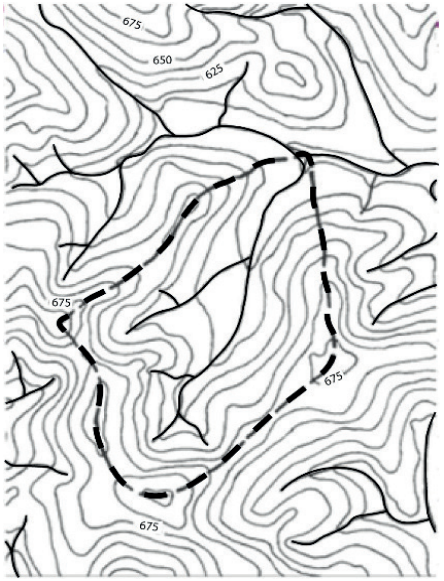
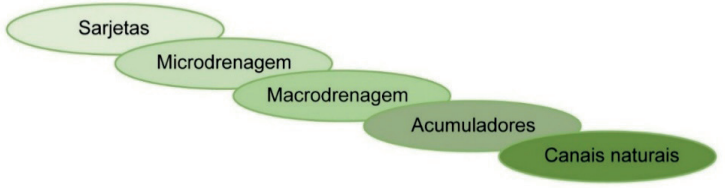


Ilustração: Leticia Evelyn.

O sistema tradicional é dividido em elementos de microdrenagem e macrodrenagem, são classificados de acordo com suas funções, ou seja, capturar ou lançar o escoamento superficial de forma segura no destino final.

A microdrenagem tradicional é formada por elementos superficiais e subterrâneos, a saber: meios-fios, sarjetas, sarjetões, bocas de lobo, galerias, poços de visita, dutos de ligação. Já a macrodrenagem se destina a receber e encaminhar as águas coletadas pela microdrenagem até seu destino e é constituída tanto por canais naturais como por talvegues, grotas, pequenos córregos ou canais artificiais, como galerias de lançamento, que podem ter trechos subterrâneos, abertos e bacias de estocagem.

Figura 7 – Sistema de drenagem

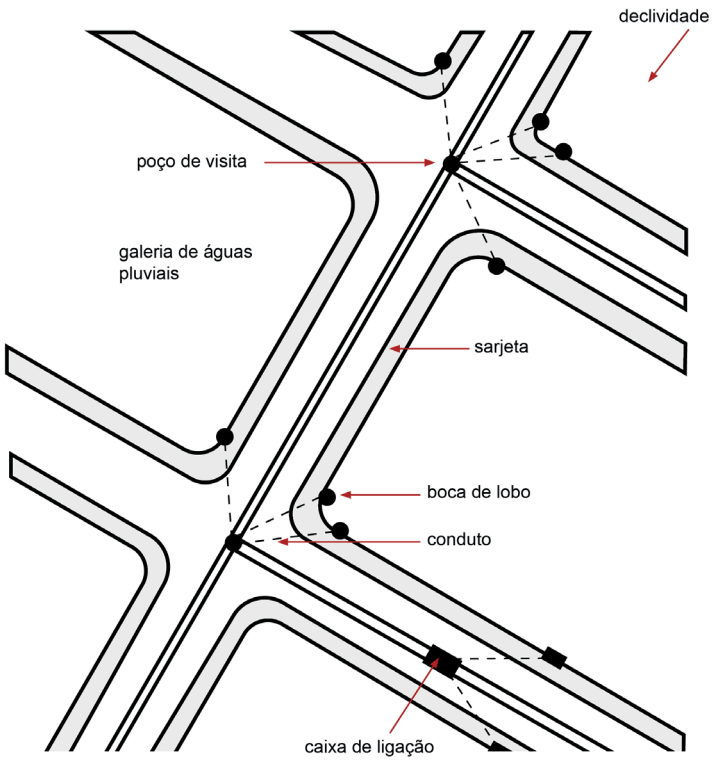


Fonte: Produção da autora.

Elementos do microdrenagem

Os elementos principais da microdrenagem são os meio-fios, as sarjetas, os sarjetões, as bocas de lobo, os poços de visita, as caixas de ligação, as galerias, os dutos de ligação e as estações de bombeamento, todos responsáveis por coletarem as águas, conforme definições e características apresentadas a seguir.

Figura 8 – Dispositivos conectados da microdrenagem



Fonte: Ilustração de Leticia Evelyn. Adaptado de Ed. Pini (2014).

Meio-fio: são blocos de concreto ou de pedra dispostos entre a via e o passeio. Com sua face superior nivelada com a calçada, forma uma faixa paralela à via para orientar as águas na sarjeta, mantendo-as abaixo da calçada.

Sarjeta: formada por uma calha entre o meio fio e a faixa de rolamento da via, objetiva coletar as águas pluviais que caem sobre a via que, por sua vez, possui inclinação a partir do eixo para os dois lados onde se encontra a sarjeta. Essas águas rolam sobre a sarjeta no sentido de caimento da via até uma boca de lobo. A capacidade das sarjetas depende da sua declividade, rugosidade e forma. Deve-se evitar o excesso de vazão (água), pois pode resultar em alagamento das calçadas. Para calcular a capacidade de condução da sarjeta pode-se, de forma expedita, considerar a declividade da via de 3% e uma altura de 10 a 15 cm (essa será, por consequência, a altura do meio fio).

Figura 9 – Representação da sarjeta

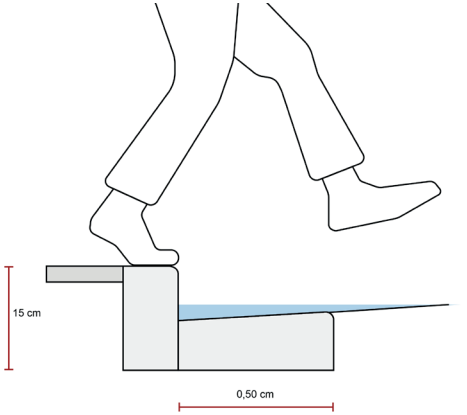


Ilustração: Leticia Evelyn.

Sarjetão: são calhas que constituem quase que o rebaixamento do pavimento das faixas de rolamento das vias. Visam orientar o fluxo das águas em direção às sarjetas. Seu dimensionamento vai depender da vazão das sarjetas e da inclinação da via.

Figura 10 – Visualização de um sarjetão



Ilustração: Leticia Evelyn.

Boca de lobo: consiste em um dispositivo que capta a água das sarjetas e a conduz para as galerias fazendo, assim, a transição entre a drenagem superficial e a subterrânea. As bocas de lobo devem ser instaladas sempre nos pontos mais baixos da via como forma de prevenir alagamentos. Será nesses locais que as sarjetas terão mais água para ser capturada pela rede subterrânea.

Quando a via tiver uma inclinação maior, fazendo com que o escoamento chegue com mais rapidez nas partes baixas, e/ou for muito larga, deve-se colocar bocas de lobo nos dois lados da via. O comum, entretanto, é que seja apenas em um lado e longe das travessias de pedestres para não criar transtornos. O número de bocas de lobo deve ser definido em função da capacidade de escoamento das sarjetas. Não existindo esse dado, recomenda-se um espaçamento de 60m entre cada uma. Outra forma de aumentar a capacidade de esvaziamento da sarjeta é colocar mais estruturas nos pontos de maior acúmulo de água, como pode-se ver nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Diferentes modelos de boca de lobo para captação de águas da sarjeta

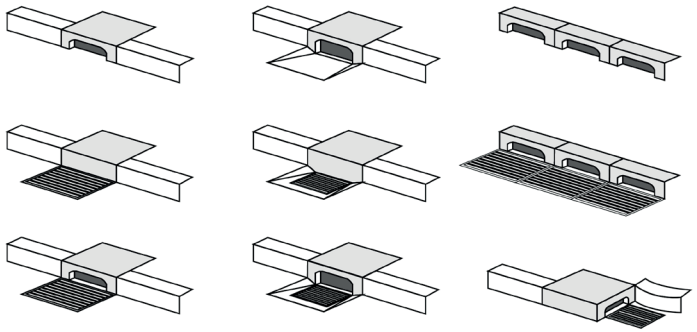


Ilustração: Leticia Evelyn.

Figura 12 – Diferentes modelos de captação de água pela boca de lobo (perfil)

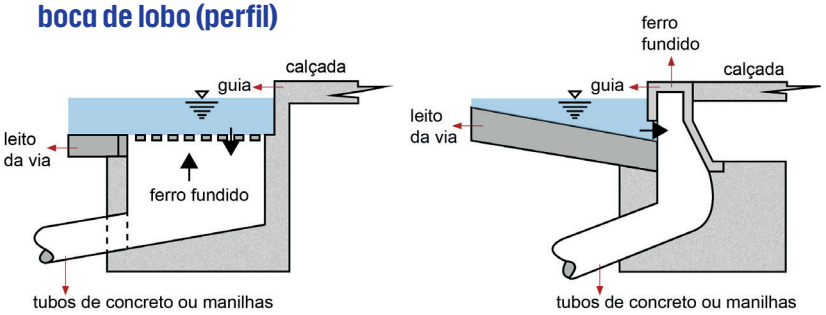


Ilustração: Leticia Evelyn.

Poço de visita: é um dispositivo colocado em pontos do sistema para permitir sua manutenção. Sua localização deve atender à necessidade de visita nos seguintes casos: (i) cabeceiras das redes; (ii) pontos de reunião de dutos (encontro de ruas e ao recolher água de caixas coletoras); (iii) trecho longo, para reduzir a distância de acesso ao alcance da manutenção; (iv) mudança de nível, de seção, de declividade, de direção ou de tipo do material. Sobre as dimensões de cada poço de visita, veja a tabela a seguir.

Tabela 2 – Dimensões mínimas de chaminé e balão

Dimensões mínimas recomendadas para chaminé e balão de PV (m)			
Dimensionantes		Altura da chaminé (hc)	Diâmetro do balão (Db) (*)
Profundidade (h)	Diâmetro (d)		
≤ 1,50	Qualquer D	0,30	1,00
1,50 < h ≤ 2,50	≤ 0,60		1,20
	> 0,60		D+1,20
> 2,50	≤ 0,60	0,30 < hc ≤ 1,00	1,20
	> 0,60		D+1,20

(*) Para PV prismático Db = aresta
h – profundidade da tubulação de jusante (= profundidade do PV)
D – diâmetro da tubulação de jusante que sai do PV

Fonte: Adaptado da NBR 12266. https://pt.scribd.com/doc/30914255/NBR-12266-NB-1349-Projeto-E-Execucao-de-Valas-Para-Assentamento-de-Tubulacao-de-Agua-Esgoto-Ou-Drenagem-Urbana

Figura 13 – Elementos de um poço de visita

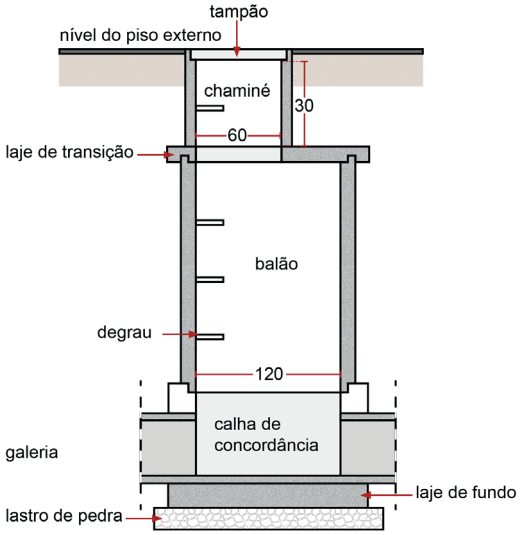


Ilustração: Leticia Evelyn.

As tampas dos poços de visita devem ser de ferro fundido, com peso variando entre 90 kg (quando submetida a tráfego leve) e 270 kg (em vias principais). Elas não podem ser lisas, para evitar que os veículos derrapem ao trafegar sobre elas. Quando for necessária a construção de bocas de lobo intermediárias ou para evitar que mais de quatro tubulações cheguem em um determinado poço de visita, utilizam-se as chamadas caixas de ligação. A diferença em relação aos poços de visita é que as caixas não são visitáveis.

Figura 14 – Representação de sistema com caixa de ligação

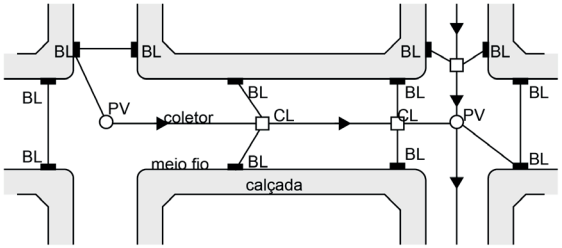


Ilustração: Leticia Evelyn.

Duto de ligação: é uma pequena ligação entre as bocas de lobo e a galeria central da via. Tem como objetivo conduzir as águas pluviais captadas nas bocas de lobo para a galeria. Devem possuir no mínimo 30cm de diâmetro para evitar obstruções, sendo outra preocupação a redução de seções à jusante, pois qualquer detrito que venha a se alojar na tubulação deve ser levado junto com a água para evitar entupimento.

Galeria: tubulação subterrânea destinada a escoar as águas pluviais oriundas das sarjetas, às quais é conectada pelas bocas de lobo, constituindo o que se denomina como rede coletora. O traçado da rede coletora deve ser homogêneo na distribuição das galerias e implantado em paralelo com o sistema viário e demais áreas públicas para evitar retrabalho, o que significa transtornos aos moradores e custos adicionais. A rede coletora pode se situar sob as sarjetas ou sob o eixo da via, sendo mais comum sob o eixo da via.

Figura 15 – Representação de uma galeria

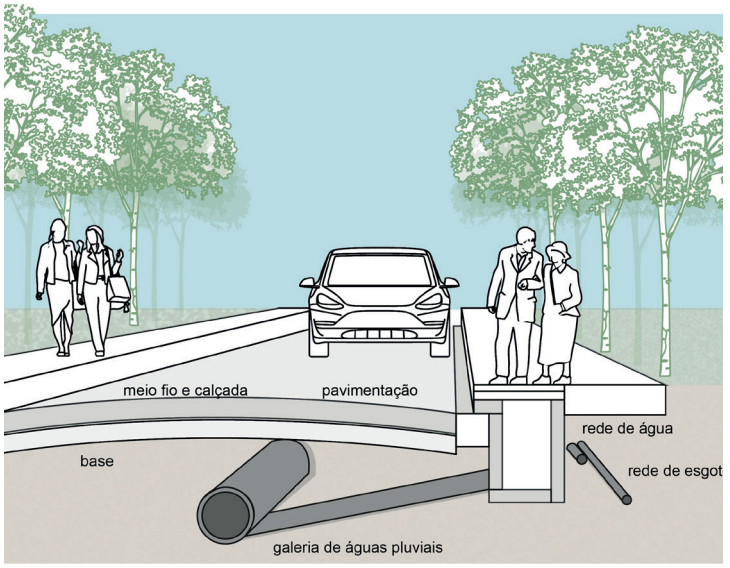


Ilustração: Leticia Evelyn.

Somente em vias muito largas existem galerias dos dois lados da via, logo abaixo de sarjetas e bocas de lobo. As galerias mais utilizadas são de concreto pré-fabricado com seção circular nos diâmetros comerciais de 400mm (os menores) a 1.500mm. Para diâmetros acima de 1.500mm, utilizam-se galerias moldadas *in loco* com diferentes seções. A profundidade das galerias costuma ser de 1m para possibilitar o caimento dos dutos de ligação que têm o recobrimento de 60 cm.

Estação de bombeamento: o ideal é que o sistema funcione por gravidade, o que é quase impossível em uma grande cidade. Assim, para que a água flua ao longo da rede de drenagem, recorre-se às estações de bombeamento que dão força às águas para a mudança de nível (altura entre as diferentes vias em função da topografia).

Bueiro: destinado a permitir a passagem livre das águas sob o corpo das estradas ou vias, normalmente é instalado no fundo do talvegue. Mais utilizado em rodovias, também é comum em vias urbanas no modelo denominado de bueiro de greide, que é quando capta as águas coletadas por dispositivos de drenagem superficial, tal como sarjetas, e as conduz para o outro lado da via, permitindo sua transposição. Em canteiros centrais largos, onde existem valetas, os bueiros são comuns por baixo dos retornos para permitir que a água trespasse a via e continue na valeta que segue em sua declividade. Normalmente, são de dutos pré-moldados. A depender da quantidade de água, pode ser colocado mais de um duto.

Figura 16 – Bueiro

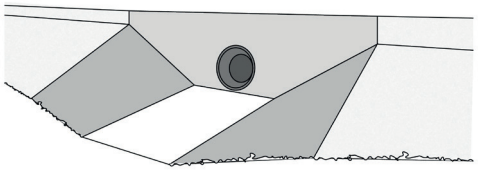


Ilustração: Leticia Evelyn.

Elementos de macrodrenagem

Os elementos da macrodrenagem são planejados e empregados de acordo com a topografia da área, a vazão do escoamento, o curso d'água que receberá o lançamento e a precipitação que recebe a bacia de drenagem. Um dos aspectos de maior relevância é a vazão do corpo d'água receptor (área de lançamento), pois se ela não for suficiente para receber o volume de água enviado pela rede o corpo d'água sofrerá erosão e assoreamento. A permeabilidade do solo ao longo do canal de lançamento, seja terreno natural ou galeria, é outro aspecto a ser considerado. A macrodrenagem pode compreender, também, a rede de drenagem natural existente antes da ocupação da área.

Os principais elementos que compõem esse sistema são:

Canais de drenagem: estruturas abertas ou fechadas que conduzem as águas pluviais em grandes volumes e velocidades.

Reservatórios de detenção ou retenção: estruturas que armazenam temporariamente ou permanentemente as águas pluviais, reduzindo o pico de vazão e evitando inundações.

Dispositivos de dissipação de energia: estruturas que reduzem a velocidade das águas pluviais antes de lançá-las nos corpos hídricos receptores, evitando erosão e assoreamento.

Dispositivos de tratamento de águas pluviais: estruturas que removem poluentes das águas pluviais antes de lançá-las nos corpos hídricos receptores, melhorando a qualidade ambiental. Esses dispositivos não são comuns e devem ser utilizados quando existir muitos resíduos sólidos carregados pelo escoamento superficial.

Figura 17 – Chegada do curso d'água de galeria de lançamento (com dissipadores de energia)

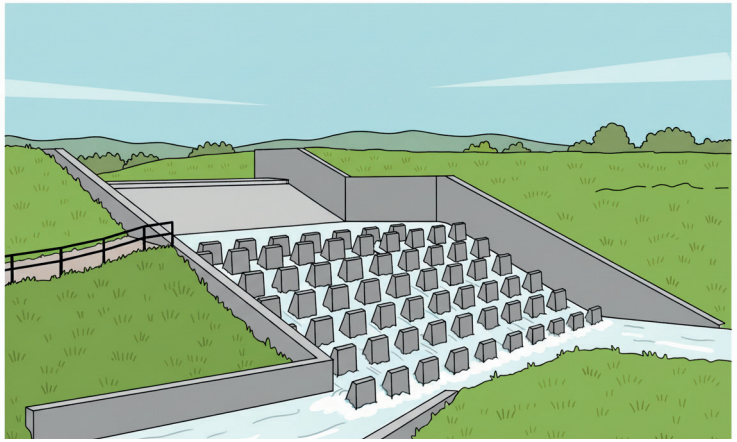


Ilustração: Cássio Moura

Figura 18 – Chegada de uma galeria a uma bacia de contenção (com dissipadores de energia na forma de gabiões[1])

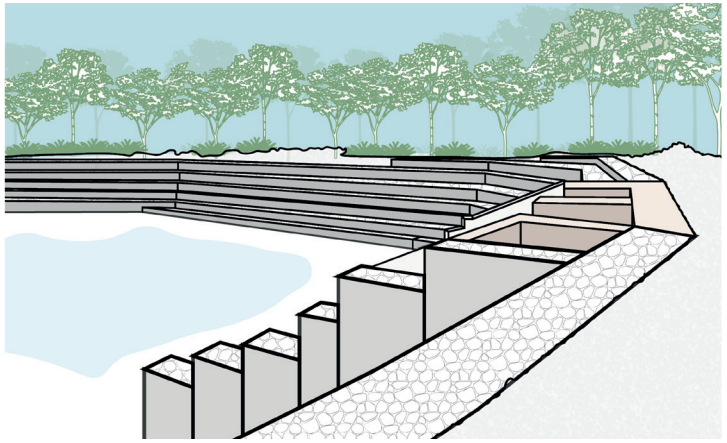


Ilustração: Leticia Evelyn.

1 Gabiões são estruturas de contenção e proteção feitas de pedras empilhadas em gaiolas de arame. Utilizados em obras de engenharia civil, são muito versáteis e podem ser usados para estabilizar encostas, consolidar margens de rios e como elementos de drenagem.

Após muitos anos sendo o único sistema com correção técnica utilizado, o sistema tradicional passou a sofrer críticas em relação a impactos ambientais e sua rigidez em relação à dinâmica urbana. A tabela a seguir sintetiza algumas dessas críticas.

Tabela 3 – Vantagens e desvantagens do sistema de drenagem tradicional

Característica	Vantagem	Desvantagem
Tempo de concentração reduzido	O escoamento é veloz, gerando menos transtorno para a população urbana.	A tormenta atinge os corpos hídricos rapidamente; alguns podem não estar preparados para receber tal volume repentinamente.
Concentração de vazões	O sistema possui uma lógica de concentração que reduz custo de dissipação, tratamento ou lançamento final.	As vazões naturais são difusas e lentas. A vazão concentrada descarrega todo o volume coletado em um único ponto, podendo erodir margens e dificultar a recarga dos aquíferos.
Lançamentos pontuais	Prevê-se o local da dissipação da água, o que facilita a manutenção.	Há aumento do volume de água em um local específico e a descarga é rápida, o que dificulta a vazão da chuva.
Redução da infiltração	Maior estabilidade dos terrenos urbanos, redução da contaminação do solo por metais pesados e poluição difusa.	Redução dos níveis dos lençóes freáticos e das vazões de estiagens dos rios, diminuição da capacidade de armazenamento de água no solo, degradação dos ecossistemas aquáticos e perda da biodiversidade.

Fonte: Adaptado de CHRISTOFIDIS (2010).

Discussões sobre o sistema tradicional e suas adequações a demandas socioambientais

Diante das grandes e rápidas alterações na configuração urbana, com incremento de impermeabilização, os sistemas tradicionais se tornaram obsoletos. Como resultado, é frequente a necessidade de investimento em grandes obras, com grandes transtornos, para alargar tubulações e atender ao aumento da demanda por escoamento superficial. As áreas de lançamento das águas se tornaram cada vez mais distantes das áreas urbanas, e com recorrentes problemas de enchentes e inundações. Isso sinalizou que era hora de repensar a lógica do sistema de drenagem.

No início, procurou-se recuperar a capacidade de amortecimento com a implantação de bacias de detenção, o que não tem respondido ao aumento do escoamento, além de retirar áreas dos espaços públicos para implantação de elementos de caráter monofuncional, resultando em conflitos no uso do espaço da cidade. Diante desse contexto, há quase duas décadas foi iniciado o processo de revisão do modelo tradicional, impactado pela nova realidade imposta pelas mudanças climáticas. Entraram em cheque várias soluções de infraestrutura tidas como assertadas para tornar as cidades funcionais.

As novas discussões remetem à adoção de intervenções que procurem manter a lógica de funcionamento da drenagem natural, que é a da infiltração potencializada. Para tanto, deve-se identificar as áreas de drenagem natural e não as ocupar, além de evitar a impermeabilização do solo, mantendo áreas verdes ou utilizando materiais que permitam a infiltração. São soluções a serem implantadas tanto em novos parcelamentos do solo como em áreas de expansão ou em intervenções em cidades consolidadas.

A análise da lógica do ciclo hidrológico, e como fazer a cidade dialogar com o caminho natural das águas, passou a ser o Norte da revisão do modelo: promover a infiltração compensando as áreas impermeabilizadas ao invés de contar exclusivamente com recurso dos sistemas de drenagem tradicional (escoar água para áreas distantes). Ao contrário do que se pensa, o custo de uma infraestrutura de drenagem que potencializa a infiltração tende a ser menor do que o custo do sistema de galerias.

Nessa nova abordagem, as medidas de controle na fonte e as não estruturais ganham mais força do que na drenagem tradicional, onde elas são secundárias. A ideia de medidas compensatórias torna-se o foco no projeto de urbanismo e drenagem, agora realizados de forma conjunta. Assim, as técnicas compensatórias constituem estruturas que buscam compensar os efeitos da urbanização e da impermeabilização do solo. Sua premissa é a de que para cada área impermeabilizada seja compensada a recarga perdida com infiltração dentro da própria bacia.

As primeiras inciativas dessa natureza surgiram há cerca de 30 anos em países como Estados Unidos, Austrália, Canadá, Alemanha e França e passaram a ser denominadas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, em inglês *Low Impact Development* (LID). Os métodos de urbanização de baixo impacto avançam conceitualmente em relação ao convencional ao empregar parâmetros hidrológicos para definir os elementos que devem promover a infiltração.

Não se trata só de deixar áreas livres de edificações no projeto urbanístico, mas de calcular, da mesma forma que se fazia no modelo tradicional, o escoamento superficial e instalar nas áreas verdes e livres elementos de drenagem sustentável para que possam receber e infiltrar esse escoamento na mesma localidade em que foi gerado. Esses novos dispositivos podem ser implantados nos espaços públicos, integrando as infraestruturas de drenagem a espaços de usos e funções múltiplas que

valorizam a paisagem e a estética da cidade. Deve-se destacar que esses elementos de infiltração podem ser utilizados dentro do lote, tornando o controle na fonte.

Assim, rompe-se com a prática de considerar a drenagem como sendo objeto de um projeto acessório. Apesar de o ideal ser a integração entre urbanismo e sistema pluvial para controle da drenagem urbana de forma preventiva, na hora do projeto pode-se remediar o passivo com medidas de natureza corretiva.

Deve-se ter em conta que assim como a drenagem tradicional possui suas desvantagens, a sustentável não pode ser entendida como solução para todos os casos, pois em áreas muito impermeabilizadas e adensadas não será possível captar toda a água na fonte nem infiltrar todo o escoamento dentro da bacia. Então, a abordagem atual é a de que deve-se integrar os dois sistemas em um modelo híbrido.

Tabela 4 – Fases predominantes das soluções para drenagem urbana

Fase	Características	Consequências
Pré-higienista: século XVIII até fins do século XIX	Esgotamento por fossas ou junto com a drenagem, sem tratamento e lançamento no curso d'água mais próximo.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
Higienista: fins do século XIX até fins dos anos 1970	Transporte de esgoto e drenagem para longe da cidade por canalizações; primeiro sem e depois com tratamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água para abastecimento e nos cursos d'água.
Higienista corretiva: entre fins dos anos 1970 até início dos 1990	Coleta de esgoto e drenagem separados com tratamento antes do lançamento, amortecimento da drenagem antes do lançamento.	Recuperação dos rios, restando a poluição difusa, obras hidráulicas com impacto de erosões e assoreamentos nos cursos d'água.
Renaturalização: Depois de 1990	Revisão da rede de drenagem como única solução e criação de elementos de promoção da infiltração.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade ambiental das cidades.

Fonte: Tucci, C. Estudos Avançados 22 (2008) Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/107577.

Christofilidis conceitua a drenagem urbana sustentável como "o conjunto de medidas que visam a manter as condições pluviais de uma ocupação urbana próxima, ou igual, à que existia antes da sua ocupação e que permita a recuperação ambiental de ambientes anteriormente degradados" (2010, p.73). Nessa definição, infere-se que a intenção desse sistema é que a drenagem ocorra do modo mais natural possível, similar aos moldes anteriores à urbanização. O mesmo autor lista os princípios norteadores da drenagem sustentável como sendo: (i) não ampliação da cheia natural, favorecendo o escoamento natural; (ii) medidas de controle no conjunto da bacia (fiscalização e manutenção); (iii) bacia hidrográfica como principal base do planejamento hídrico.

6.4 Soluções de drenagem por meio do urbanismo sensível à água e técnicas compensatórias

Novas abordagens para lidar com o ciclo da água em paisagens urbanas surgiram em diferentes locais do mundo desde meados da década de 1970. Essas abordagens adotam uma visão abrangente e têm como objetivo integrar o uso e a ocupação do solo ao manejo da água, fornecendo uma gama de soluções para reduzir o impacto do volume, por meio de medidas de preservação do sistema natural de drenagem existente e/ou simulação do sistema natural de infiltração nas áreas antropizadas (ANDJELKOVIC, 2001; BROWN; KEATH; WONG, 2009; SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012). Nessa linha, existem vários manuais e documentos diretivos que podem orientar projetos de urbanismo sensíveis à água por meio de técnicas que podem ser introduzidas na paisagem para proporcionar infiltração e substituir e/ou completar as soluções de drenagem tradicionais quando essas começam a ficar obsoletas.

Em relação aos manuais, destacam-se os seguintes:

***International Hydrological Programme* (IHP)** – programa hidrológico da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) que publicou, entre 2007 e 2010, uma série de sete relatórios sobre a água no ambiente urbano, chamada *Urban Water Series*[2]. Em 2001, foram publicados os manuais *Urban drainage in specific climates*[3] e *Guidelines on non-structural measures in urban flood management*[4] (ANDJELKOVIC, 2001; MAKSIMOVIC; TUCCI, 2001). Além do IHP, a Unesco faz parte das agências da ONU que compõem a *UN-Water,*

2 A série sobre a água no ambiente urbano da Unesco é composta por sete relatórios que abordam os temas: (2007) processos e interações do ciclo da água urbano; (2007) dados necessários para uma gestão integrada da água urbana; (2007) gestão, ciência, política e prática para habitat aquáticos urbanos sustentáveis; (2009) gestão de riscos da água urbana; (2009) gestão integrada da água urbana em regiões áridas e semiáridas; (2010) gestão integrada da água urbana em trópicos úmidos; e (2010) simulações e modelagens avançadas para gestão da água subterrânea. Disponível em: http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001910/191066e.pdf

3 Disponível em: http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001228/122848eo.pdf

4 Disponível em: http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001240/124004e.pdf

programa das Nações Unidas que coordena o trabalho sobre água e saneamento e publica, anualmente, desde 2014, relatórios sobre o estado, gestão e uso da água mundialmente[5]. Desde 2018, esses relatórios possuem como tema as soluções baseadas na natureza (SbN) como forma de gestão da água.

***Low Impact Development* (LID)** – surgiu no fim da década de 1980 como uma estratégia de manejo de águas urbanas desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*U.S. Environmental Protection Agency* – US EPA) por meio de planejamento e desenho urbano integrados a práticas de detenção, infiltração e tratamento da água em pequena escala e conservação e aproveitamento das características naturais do solo e da vegetação. A LID destaca a atuação na bacia hidrográfica, considerando informações do meio físico como topografia, solo, hidrologia, vegetação e uso do solo como definidos no zoneamento urbano, projeto urbanístico, sistema viário e, ainda, as áreas verdes disponíveis. As soluções são voltadas para a manutenção do processo hidrológico, a minimização dos impactos da urbanização e a criação de paisagens multifuncionais (HINMAN, 2012; PRINCE GEORGES COUNTY, 2000).

***Water Sensitive Urban Design* (WSUD) –** procura integrar a gestão do ciclo da água ao planejamento e desenho urbano com o objetivo de imitar e proteger os sistemas naturais relacionados à água nos ambientes urbanos *(KIAMA MUNICIPAL COUNCIL, 2005; NUNES et al.*, 2012; MELBOURNE WATER, 2014). Essa abordagem é mais holística e procura a minimização das superfícies

5 Os relatórios anuais abordam temas específicos sendo que desde de 2014 já foram abordados os seguintes temas: (2014) água e energia; (2015) água para um mundo sustentável; (2016) água e empregos; (2017) águas residuais, um recurso à disposição; e (2018) soluções baseadas na natureza para a gestão da água. Disponível em: http://www.unwater.org/publication_categories/world-water-development-report/

impermeáveis, maximização da reutilização da água, diminuição do consumo e redução do despejo de esgoto e águas de drenagem em corpos hídricos. Para tal, se vale de técnicas de detenção, infiltração e tratamento da água da chuva que simulam sistemas naturais. O WSUD ainda ressalta a oportunidade de obter múltiplos benefícios por meio da gestão sustentável da água urbana.

Sustainable Drainage Systems **(SuDS)** – é uma abordagem inglesa com maior foco nas técnicas de detenção, infiltração e tratamento da água que simulam os sistemas naturais, cobrindo detalhadamente conceitos que envolvem seu planejamento, projeto, construção e manutenção, além das contribuições de cada técnica para a manutenção da quantidade e da qualidade da água, biodiversidade e outras amenidades como lazer e estética (BALLARD *et al.*, 2015).

Como pode-se ver, são técnicas alinhadas aos mesmos principios e que oferecem várias opções tanto para projetos de urbansimo de novas áreas de parcelamento do solo como de melhorias para áreas urbanas já consolidadas e que apresentam problemas de drenagem.

As estratégias definidas nos manuais se relacionam, principalmente, com quatro elementos do tecido urbano: (1) áreas de preservação; (2) espaços livres de uso público; (3) lotes; e (4) rede viária. Cada elemento será melhor exlicado a seguir.

Áreas de preservação

A mitigação da perda de infiltração natural e a integração das funções hidrológicas ao projeto começam com a indentificação, a preservação e a recuperação de áreas sensíveis a essa função. Nesse sentido, no que tange à urbanização sensível à água, deveria ser mantido um maior percentual de áreas florestadas, zonas úmidas naturais e solos de alta permeabilidade e capacidade de armazenamento. Em relação aos canais de drenagem natural, quando possível é importante preservá-los e manter sua capacidade de lidar com o escoamento definindo margens preservadas com suas áreas de amortecimento desocupadas. Segundo McHarg, Sutton e Spirn (1973), deve ser mantida um mínimo de vegetação nativa de 90m no entorno de canais principais e de 30m no entorno de canais secundários, sem nenhum tipo de construção ou pertubação do solo. Ainda, deve-se priorizar a locação de áreas de maior densidade em solos menos permeáveis (argilosos), preservando e utilizando solos permeáveis (arenosos e/ou florestados) para infiltração (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000).

Na legislação brasileira, critérios de delimitação e o regime de proteção dessas áreas são definidos pelo Código Florestal[6]. Ele define Áreas de Proteção Permanente (APP) como áreas cobertas ou não por vegetação nativa com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade (Inciso II, art. 3º e 4º).

Espaços livres de uso público

Entre as estratégias de gestão sustentável das águas pluviais urbanas destaca-se o papel das áreas verdes em localidades que seguem os mecanismos naturais de escoamento, permitindo a infiltração sem comprometer o ciclo da água. Com isso, espaços ajardinados devem ser concebidos com função ecossistêmica (infiltração) e funcional (interação social). Sobre essa relação, entre drenagem sustentável e paisagismo, tem-se que:

I. a área urbanizada deve ter um comportamento aproximado às condições hidrológicas do ambiente

6 Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e alterações.

natural, com maior tempo de detenção do escoamento pluvial, maior infiltração e recarga dos aquíferos, menor escoamento superficial que levará a menores níveis de erosão;

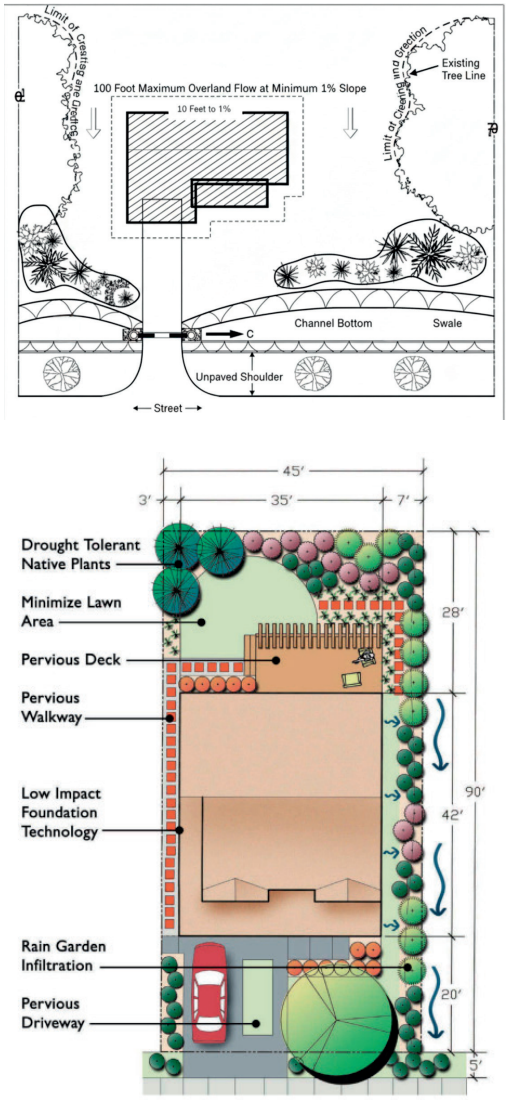
II. as técnicas de drenagem sustentável podem ser implantadas para auxiliar a infiltração nas áreas verdes tanto nos casos de projeto de expansão urbana quanto em projetos de renovação ou requalificação do espaço urbano.

Para isso, ao localizar as áreas de espaços abertos, é necessário considerar não apenas a implantação de vegetação nativa e técnicas de drenagem sustentável, como também seu alinhamento ao longo de linhas de drenagem natural e em solos de maior permeabilidade, de forma a proteger e aproveitar melhorar áreas que contêm recursos naturais relacionados à manutenção do ciclo da água dentro da área urbana (KIAMA MUNICIPAL COUNCIL, 2005; MELBOURNE WATER, 2014)

Lotes

Na escala do lote, compreender e incorporar as características naturais do terreno, identificadas no estudo topográfico, e a manutenção dos padrões de drenagem existentes, pois auxiliam no desenho do parcelamento e minimizam a perturbação das áreas naturais de alta funcionalidade hidrológica.

Figura 19 – Exemplos de design de terrenos residenciais unifamiliar de baixa densidade e de alta densidade, utilizando as diretrizes supracitadas



Fonte: HINMAN, Curtis. Low Impact Development Technical Guidance Manual for Puget Sound. . [S.l: s.n.], 2012.

Essas técnicas de pertubação mínima do solo envolvem: reduzir o total de áreas pavimentadas; o tamanho do canteiro de obras, limitando a localização da construção; desconectar as superfícies impermeáveis; manter ao máximo a topografia e os canais de escoamento naturais; respeitar áreas mínimas exigidas para ruas, elementos estruturais, edificações e manuseio de equipamentos (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973; PRINCE GEORGES COUNTY, 2000). Em adição, a implantação de gramados nas áreas desmatadas e compactadas não é recomendada, uma vez que permite menor infiltração da água e menor recuperação da compactação do solo (ANDJELKOVIC, 2001).

As áreas impermeáveis remanescentes (telhados e pavimentos) ainda podem ser desconectadas a partir do direcionamento do fluxo de telhados para zonas vegetadas e solos de alta permeabilidade de modo que seu escoamento superficial possa ser infiltrado. Para auxiliar nesse processo, as áreas que foram compactadas e ajardinadas durante a construção devem ser trabalhadas para retornar seu nível de permeabilidade pré-construção, com a restauração de vegetação nativa ou técnicas de tratamento do solo para manter a permeabilidade (ANDJELKOVIC, 2001).

6.4.1 Técnicas de drenagem "sustentável" e as intervenções de renaturalização das cidades

Entre os manuais mencionados anteriormente, o de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID) trata não só das diretrizes de projeto urbanístico sensíveis à água como também apresenta uma série de técnicas compensatórias que podem ser adotadas para minimizar os problemas de áreas já urbanizadas.

Hoje, vários estudos trazem varrições dessas técnicas e seu repertório foi bastante ampliado, pois encontram interfaces com as técnicas de infraestrutura verde e, mais recentemente, com a de soluções baseadas na natureza, campos disciplinares que muito têm avançado quando o assunto é renaturalização de cidades. Deve-se destacar que essas disciplinas são mais abrangentes, não envolvendo apenas a drenagem, mas vários outros aspectos da cidade como mobilidade e mudanças climáticas.

Box 3 – O que é infraestrutura verde

O termo infraestrutura verde é de origem anglo-saxônica e foi cunhado pela Comissão de Corredores Verdes da Flórida, em 1994. Na ocasião, foi apresentado um plano de intervenções para infraestruturas urbanas com novas abordagens, pois se ancorava lógica da natureza para definir soluções para problemas típicos dos ambientes antrópicos.

Nas palavras de Benedict e McMahon (2006, p.2), pesquisadores que são referência no tema, "A associação do termo infraestrutura ao verde visava enfatizar o diferencial da proposta frente às práticas ambientais conservacionistas mais tradicionais e rever a percepção popular difundida sobre o planejamento das áreas verdes e sua consequente conservação. A intenção era superar o entendimento de que as áreas verdes devem existir, pois são agradáveis ao invés de necessárias. Outra mudança de paradigma seria incorporar uma visão sistêmica no planejamento das áreas verdes que são recorrentemente vistos de forma isolada, privilegiando a conectividade entre as unidades de conservação e os espaços abertos, garantindo os benefícios ecológicos que ele provém as pessoas e ao meio ambiente".

Box 4 – O que são Soluções Baseadas na Natureza (SbN)

Conceito cunhado pela International Union for Conservation of Nature (IUCN) para designar ações que visam "proteger, gerenciar de maneira sustentável e recuperar ecossistemas naturais ou modificados. Abordam de forma eficaz e adaptativa os desafios da sociedade, promovendo o bem-estar humano e os benefícios da biodiversidade." (2016). Hoje consiste em um termo guarda-chuva, pois abriga todas as abordagens que se aliam com a integração entre cidade e natureza, como é o caso da Infraestrutura Verde ou Natural, da Adaptação Baseada em Ecossistemas (AbE) e da Contribuição da Natureza para as Pessoas (CNP). Deve sua grande difusão ao fato de a Comissão Europeia (CE), em 2013, ter recomendado aos Estados-membros sua adoção para enfrentar os desafios em cidades europeias.

Para avançar nos conceitos dos elementos de drenagem sustentável, a seguir será apresentado um detalhamento das principais técnicas, lembrando que, assim como na drenagem tradicional, as medidas de drenagem sustentável podem ser não estruturais, no caso de legislações e diretrizes orientativas, ou estruturais, como as que serão detalhadas. Essas, por sua vez, podem ser de microdrenagem e de macrodrenagem, sendo que todas demandam cálculo de escoamento superficial da área, bem como o dimensionamento da sua capacidade de infiltração.

6.4.2 Elementos de microdrenagem sustentável

O controle na fonte é um diferencial da drenagem sustentável e tem como função abater vazões e grandes volumes de escoamento superficial por meio da infiltração e/ou do armazenamento temporário no local onde as chuvas precipitam. Entre as principais funções do manejo das águas pluviais em que são comuns soluções de drenagem sustentável, destacam-se:

A purificação das águas pluviais escoadas acontece naturalmente por meio da: sedimentação, filtração e absorção. Todas as tipologias de infraestrutura verde favorecem a purificação, desde os alagados construídos até os tetos verdes.

A detenção desacelera o fluxo das águas pluviais e, consequentemente, não sobrecarrega a drenagem. Sua principal função é retardar o escoamento. Entre as estratégias de infraestrutura verde que favorecem a detenção tem-se: biovaletas, canteiros pluviais, lagoas secas, muros vegetais, interseções viárias, pavimentos porosos, ruas verdes e os tetos verdes.

A retenção é o ato de acumular e reter a água por um período (em bacias ou lagoas) para ser utilizada e, posteriormente, lançada para o sistema de drenagem ou corpos d'água. Entre as soluções de infraestrutura que favorecem a retenção, têm-se os alagados construídos e as lagoas pluviais.

A condução é o modo como a água pluvial é deslocada e transportada do seu ponto inicial (onde choveu) até o seu ponto de descarga final. As biovaletas e as ruas verdes são os elementos que favorecerem a condução das águas.

A infiltração é o processo no qual a água penetra no solo e recarrega os lençóis freáticos e aquíferos e sofre a ação de purificação. Entre as estratégias de infraestrutura verde promotoras da infiltração tem-se: alagados construídos, canteiros pluviais, hortas urbanas, interseções viárias, jardins de chuva, lagoas pluviais, lagoas secas, pavimentos porosos e ruas verdes.

Os elementos as seguir também fazem parte do repertório da infraestrutura verde e do *Low Impact Development* (LID):

Pavimentos permeáveis ou porosos

Permitem que a água se infiltre no solo, mantendo os locais secos e frescos. Podem ser construídos com vários materiais, incluindo concreto poroso e estruturas plásticas tipo grelha ou cascalho. Embora sejam considerados infiltrantes por natureza, esses materiais porosos necessitam de tratamento adequado na sua implantação para que formem colchões subterrâneos que, de fato, constituam reservatórios de infiltração.

Figura 20 – Elementos de um pavimento poroso

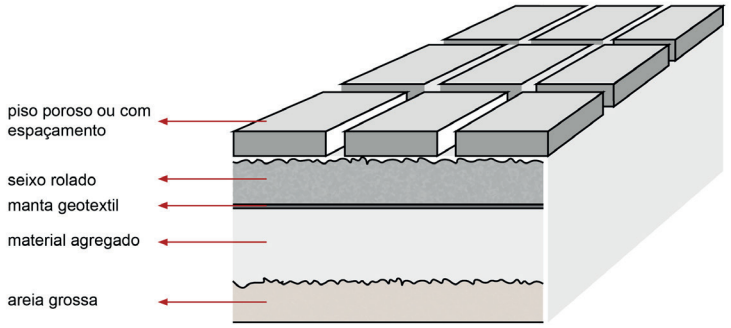


Ilustração: Leticia Evelyn.

Telhados verdes

Consiste na instalação de um jardim de vegetação rasteira no topo dos edifícios. O telhado deve ser impermeabilizado e receber uma camada de solo ou outro substrato para depois se fazer o plantio. Seu objetivo é a melhoria nas condições de escoamento pluvial, conforto termoacústico e paisagístico. Segundo alguns autores, dependendo do tipo adotado, é possível reduzir entre 50 e 90% os volumes escoados (INGRA, 2010; ROSENZWEI Getal, 2006).

Figura 21 – Exemplos de adaptação em telhado convencional

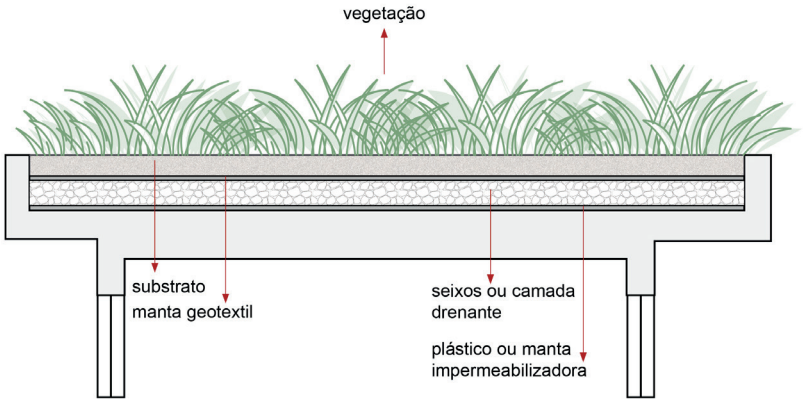


Ilustração: Leticia Evelyn.

Poços de infiltração

É um dispositivo com estrutura pontual e vertical, ideal para as áreas urbanizadas, pois ocupa pouco espaço. Pode ser construído em vários formatos e materiais, sendo sua finalidade atuar como reservatório que facilita a infiltração da água no solo. Ao capturar e armazenar a água, essa vai aos poucos infiltrando no solo reduzindo os volumes escoados e as vazões máximas de enchentes. Para tal, deve ser preenchido com material poroso para formar o colchão onde é armazenada a água antes da infiltração total. Resumindo, objetiva amortecer o pico de vazão do hidrograma de escoamento superficial do lote ou da área edificada onde o sistema for implementado. A diferença para a trincheira é que essa é linear e demanda uma área maior para sua implantação, mas possui a mesma finalidade.

Figura 22 – Elementos de um poço de infiltração

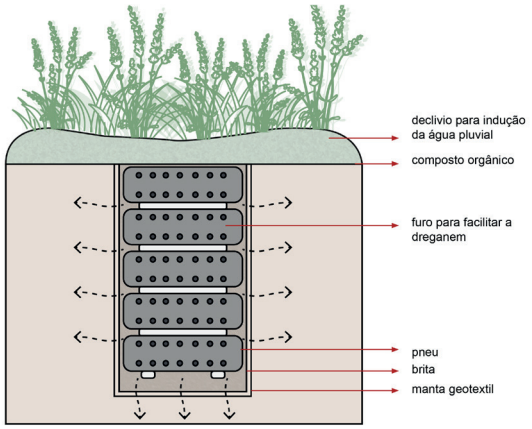


Ilustração: Leticia Evelyn.

Micro reservatórios individuais

São dispositivos de controle na fonte de águas pluviais desenvolvidos para compensar a perda da capacidade de armazenamento em lotes altamente impermeabilizados. Trata-se de um reservatório que proporciona alguma infiltração, mas que visa reservar temporariamente a água da chuva no lote para retardar a velocidade do escoamento superficial por meio do amortecimento de picos de cheias.

Figura 23 – Representação percurso das águas em um lote

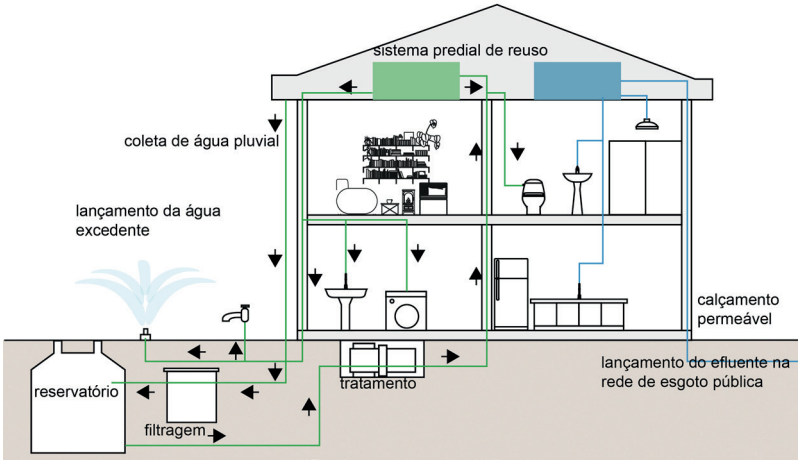


Ilustração: Leticia Evelyn.

Valas vegetadas ou biovaleta

As valas vegetadas ou jardins lineares, que ainda recebem nomes de biovaleta ou vala bioretentora, são elementos construídos em cotas mais baixas ao longo de vias e estacionamentos e que recebem as águas do escoamento superficial. Podem absorver todo o escoamento por meio da infiltração ou, em casos de grande vazão ou pequeno local de instalação, pode ser complementar à drenagem tradicional e ter a água excedente coletada por tubos perfurados localizados no subsolo e encaminhada para a rede de drenagem em cursos d'água à jusante. Suas principais funções são: promover um pré-tratamento da água através da sedimentação, filtração e absorção biológica; deter a água da chuva, e assim reduzir o *runoff*, além de servir como elemento estético.

Figura 24 – Elementos de uma biovaleta

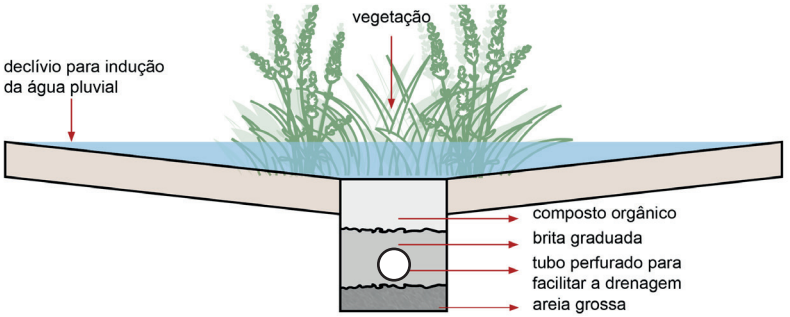
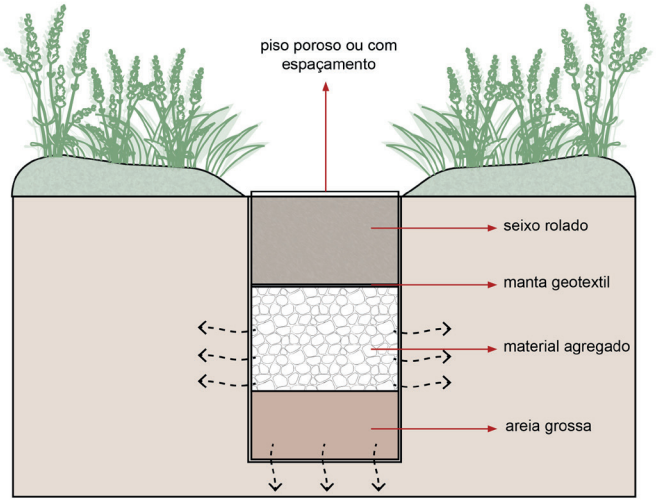


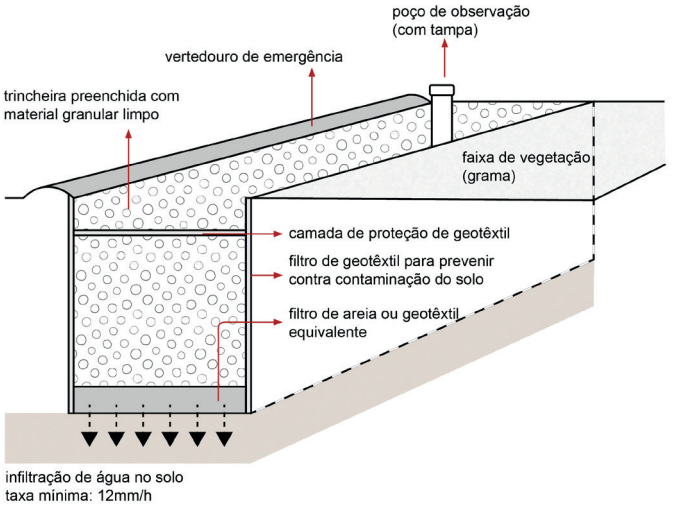
Ilustração: Leticia Evelyn.

Trincheiras de infiltração

De formato alongado e estreito, têm a geometria adequada para serem instaladas em lotes urbanos ou ao longo de vias. Requerem um pré-tratamento da água para filtração de sólidos finos ao longo da operação, processo que pode ser feito por uma manta geotêxtil removível e lavável. Graças a essa peculiaridade, existe um aumento da relação entre a área efetiva de infiltração, composta pelas paredes laterais, e o volume de armazenamento (MIKKELSEN *et al.*, 1996; LAWRENCE *et al.*, 1996). Entre as vantagens, destacam-se a redução ou mesmo a eliminação da rede de microdrenagem local; evita a reconstrução da rede à jusante em caso de saturação; redução do risco de inundação; redução da poluição das águas superficiais; recarga das águas subterrâneas.

Figuras 25 e 26 – Elementos de uma trincheira de infiltração





lustração: Leticia Evelyn.

Bioengenharias

São estruturas de contenção denominadas também de engenharia "biotécnica". Mimetizam a natureza por meio de técnicas ecológicas voltadas à estabilização do solo combinando o uso da vegetação com materiais tradicionais. Visam reforçar locais instáveis como encostas e margens e podem utilizar gabiões vegetados, estacas vivas e muros de pedra vegetados.

Jardins de chuvas

São jardins em cotas mais baixas do que as da via que recebe a água da chuva de superfícies impermeáveis adjacentes. Podem ser incorporados de maneira relativamente fácil nas calçadas e ter fins de detenção (para diminuir o fluxo de água que vem de sarjetas e vai para bocas de lobo quando se tem implantado o sistema tradicional), mas, se corretamente dimensionados, podem exercer a função de retenção e infiltração, além de purificação (por meio da vegetação) das águas pluviais antes de serem descarregadas nos cursos d'água receptores.

Figura 27 – Elementos de um jardim de chuva

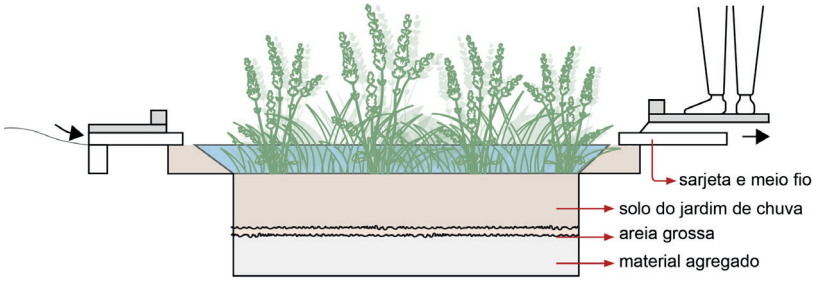


Ilustração: Leticia Evelyn.

6.4.3 Elementos de macrodrenagem sustentável

A macrodrenagem sustentável se utiliza prioritariamente de estruturas da natureza para encaminhamento das águas que não foram infiltradas a um curso de água receptor. Podem ser grotas já existentes, córregos ou, ainda, estruturas construídas, mas com natureza de parques lineares. O propósito é que sejam espaços multifuncionais e que ofereçam serviços ecossistêmicos, como: (i) lazer, restauração do *habitat* aquático e embelezamento da paisagem urbana; (ii) redução no número de eventos de enchentes e alagamentos; e (iii) melhoria na recarga dos aquíferos.

Existe uma grande variedade de soluções de infraestrutura verde que podem ser conectadas à drenagem urbana. Alguns elementos são explicados na sequência.

Corredores verdes

Um corredor verde ou parque linear é um sistema contínuo de áreas verdes ao longo de fundos de vale com os objetivos de preservação e recuperação do ambiente natural, escoamento e retenção natural das águas, além de configurar um espaço de uso público para lazer e mobilidade ativa. Apesar de serem mais comumente implantados ao longo de cursos d'água, podem ocorrer ao longo do sistema viário, ou seja, elementos lineares da paisagem urbana, daí advém sua nomenclatura. Seus benefícios podem ser classificados em três categorias: (i) hidrológicos, pois promovem a retenção das águas nas áreas inundáveis e, consequente, o amortecimento e o controle das cheias; (ii) ambientais, pois preservam cursos d'água e matas ciliares garantindo a permeabilidade do solo, o controle da erosão e a melhoria da qualidade da água, podendo receber outras águas advindas do

sistema; (iii) paisagísticos, pois promovem a valorização e a requalificação do espaço urbano, o desenvolvimento da identidade local, a promoção de um aspecto visual agradável e o embelezamento da paisagem urbana.

Figura 28 – Representação de corredores verdes na paisagem urbana



Bacias de infiltração

Lagoa seca ou bacia de infiltração consiste em uma depressão vegetada que durante as chuvas recebe as águas, contribuindo para a diminuição do escoamento superficial (grande responsável pelas inundações), retardando a entrada das águas no sistema de drenagem e possibilitando a infiltração com a recarga de aquíferos. Pode ser projetada em diversos pontos da bacia hidrográfica e pode receber a contribuição de mais de uma bacia de drenagem. Sua localização sempre ocorre em pontos baixos ao longo de vias, na linha de drenagem natural de um curso d'água ou em áreas verdes públicas. Em tempos secos, pode ser usada para atividades diversas, principalmente as de lazer, como um campo de futebol gramado. Possui como funções hídricas: purificação de sedimentação, detenção e infiltração.

Figura 29 – Lagoa seca / Bacia de infiltração



Fonte: RENANDER .S (2005)

Figura 30 – Lagoa pluvial / Alagado



Fonte: RENANDER .S (2005)

Alagados construídos

Outro elemento do sistema de espaços verdes que favorece a drenagem são os alagados construídos ou *constructed wetland*, pois seus níveis de água subterrânea afloram formando uma área de solo saturado. Esses alagados recebem as águas pluviais, promovem a retenção e a remoção de contaminantes. Consistem em uma extensa superfície vegetada que é coberta por água, normalmente com pouca profundidade. Geralmente são formados por uma zona de entrada, zona de macrófitas e um canal para proteger as macrófitas. Esses elementos podem ocorrer em uma área naturalmente encharcada ou serem construídos para representar esses espaços naturais. São exemplos de *wetlands* naturais: brejos, pântanos e lagos superficiais. O principal objetivo dos alagados construídos é a melhoria da qualidade da água (pela remoção de sedimentos, nutrientes, cargas orgânicas), mas também podem exercer o controle de cheias. Devem ser utilizados na composição da paisagem onde além da sua eficiência na drenagem constituam um elemento estético.

A tabela a seguir sintetiza as funções dos elementos da macro e da micro drenagem sustentáveis, sem descartar a possibilidade de outras configurações, desde que mantidos seus princípios.

Tabela 5 – Elementos de infraestrutura verde que favorecerem a drenagem sustentável na escala da cidade

Componente da Infraestrutura Verde	Função	Elemento
Elementos compensatórios	Potencializar a infiltração.	Trincheiras, biovaletas, jardins de chuva, poços de infiltração, pavimentos permeáveis.
Áreas verdes	Manter a permeabilidade e a fertilidade do solo; diminuir o escoamento superficial.	Praças, parques urbanos, jardins públicos, canteiros.
Corredores verdes (*greenways*)	Facilitar fluxos hídricos e biológicos; reduzir risco de extinção local; favorecer a recolonizarão. São refúgios para fauna e facilitam a propagação de perturbações.	Parques lineares, ruas arborizadas, faixas de preservação nos cursos d'água, faixas de servidão de linhas de transmissão de energia.
Alagados construídos *(constructed wetlands)*	Aumentar área de filtragem e a superfície de contato; estabilizar o meio de suporte; aumentar a diversidade, a densidade e a atividade biológica; absorver nutrientes; aumentar a condutividade hidráulica; reduzir a colmatação; representar a beleza paisagística; melhorar a qualidade da água; e controlar cheias.	Bacia construída ou área encharcada naturalmente.
Bacia de infiltração	Contribui para a diminuição do escoamento superficial (grande responsável pelas inundações), retardando a entrada das águas no sistema de drenagem e possibilitando a infiltração com a recarga de aquíferos.	Lagoas secas vegetadas ou bacias de infiltração.

Fonte: Produção da autora.

Em suma, as diferenças básicas entre medidas de micro e macrodrenagem consistem na escala e no fato de que umas visam, preferencialmente, retenções/infiltrações e as outras detenção/infiltração. Para detenção, são necessários reservatórios urbanos maiores, mantidos secos e possuidores de usos do solo integrados à paisagem urbana. A retenção tem utilização para controle do pico do volume do escoamento. Essa é uma diferença entre esses dois conceitos que facilmente são confundidos ou tidos como similares.

6.5 Plano de drenagem urbana

A Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, prevê que os municípios elaborem planos de saneamento contendo os subsistemas de abastecimento, esgotamento, drenagem e resíduos sólidos. É nesse contexto que se diz que existe a obrigatoriedade da elaboração do plano de drenagem, pois no Brasil se consagrou a ideia de um plano de drenagem, um de resíduos sólidos e outro que trata abastecimento e esgotamento de forma conjunta.

Deve-se ficar claro, contudo, que pode ser um único plano que trate dos quatro componentes do saneamento ou, em municípios pequenos, existir um único documento que reúna todos os planos no âmbito do Plano Diretor, apesar de raro.

6.5.1 Relações entre o Plano Diretor e o plano de drenagem

O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem como objetivo indicar a distribuição do escoamento superficial no tempo e no espaço com base no atual quadro de ocupação do solo, bem como na tendência de expansão urbana e de adensamento da área consolidada definidos no zoneamento do Plano Diretor.

A bacia hidrográfica é sua unidade de planejamento, sendo o objetivo fazer com que a maior parte da água infiltre na própria bacia onde foi gerada. Essa missão deve prever medidas estruturais (obras) e não estruturais, como normas de expansão e de uso e ocupação do solo em conjunto com o Plano Diretor, além da fiscalização das medidas propostas. Em complemento, devem ser criados mecanismos de gestão da infraestrutura de drenagem para evitar prejuízos econômicos e ambientais. Para tanto, precisa contar com programas de sensibilização da população e do corpo técnico; de investimentos de curto, médio e longo prazos; e de um manual de orientação sobre como adotar medidas de controle das águas pluviais por parte da população.

A indicação das medidas para que não ocorram alagamentos e inundações são de sua competência, bem como a garantia de que, pelo menos parcialmente, as águas pluviais retornem ao ciclo hidrológico natural. Por isso, é recomendável que no plano sejam identificadas, divulgadas e fiscalizadas as áreas de risco de inundações para que não sejam ocupadas e, no caso de desapropriada ou desocupada, tenham uma atualização imediata (áreas verdes e/ou de lazer) para não serem reocupadas.

6.5.2 Algumas atividades necessárias para a elaboração de um plano de drenagem urbana

Os dados e informações coletadas devem partir de bases cartográficas confiáveis (aerofotografias e imagens de satélite georreferenciadas) com o objetivo de constituir um banco de dados georreferenciado de modo a ser atualizado possibilitando o monitoramento e a fiscalização das ações do plano. Alguns aspectos devem ser obrigatoriamente contemplados, como detalhado a seguir.

Levantamento de dados e informações

Cadastro do sistema de drenagem existente; dados pluviométricos; cadastro de reservatórios e lagos artificiais e naturais; cartas geológicas e pedológicas do município; mapeamento dos pontos críticos de inundação e de instabilidade geotécnica; levantamento de dados censitários, demografia e mapeamento das densidades demográficas; mapeamento das áreas livres que podem ser utilizadas para a implantação dos elementos de drenagem; levantamento e mapeamento da legislação municipal, estadual e federal de uso do solo e de preservação ambiental; identificação das fontes de recursos para a concretização das propostas do plano de drenagem; caracterização do sistema institucional de gestão de saneamento do município; levantamento das organizações sociais, comunitárias, entidades de classe e demais agentes intervenientes em ações de interesse do plano; estudo detalhado do Plano Diretor, da previsão de adensamento e expansão urbana e de projetos urbanísticos de renovação urbana.

Formulação de cenários

Levantar os cenários que possibilitarão avaliar a eficiência das medidas de controle existentes e as propostas. Em geral, são avaliados pelo menos três cenários:

- Cenário atual, no qual é estudado o impacto da urbanização sobre o sistema de drenagem existente;

- Cenário tendencial, no qual é estudado o impacto da urbanização futura sobre o sistema de drenagem existente;

- Cenários alternativos de planejamento, que representam os efeitos das diversas alternativas de controle estudadas para constar no plano de drenagem em elaboração.

- Os cenários devem ser submetidos à discussão entre os agentes intervenientes identificados na fase anterior. Definido o cenário desejável, se procede às propostas para estatuá-lo, que podem ser estruturais e não estruturais

Medidas estruturais

As medidas estruturais demandam projetos com simulações hidrológicas utilizando modelos matemáticos que visam minimizar o escoamento por infiltração e capturá-lo em rede nos casos que não puderem ser solucionados por drenagem sustentável. Medidas de contenção de áreas de risco sempre se fazem necessárias e implicarão em articulações com o Plano Diretor no caso de necessidade de remoção e realocação de populações.

Medidas não estruturais

Entre as medidas não estruturais, o destaque deve ser o monitoramento do Plano Diretor em relação ao zoneamento de uso e ocupação do solo e os programas de estruturação do sistema de áreas verdes para potencializar a sua função ecológica e a garantia do serviço ecossistêmico hídrico. Nesse sentido, destacam-se ações como a criação de parques lineares ao longo das várzeas de inundação natural ainda não ocupadas e a criação de parques nas cabeceiras dos rios para proteção de assoreamento. Igual destaque devem ter os programas de educação ambiental e a disseminação do manual de drenagem sustentável.

Análise benefício-custo

As análises de benefício-custo são desenvolvidas para auxiliar na seleção das alternativas mais adequadas e instrumentalizar os processos para a obtenção de recursos. Medidas emergenciais, de curto prazo, poderão ser tomadas pela prefeitura para redução imediata dos riscos de inundação sem que prejudiquem o planejamento e a implantação das demais medidas propostas.

Metas e prioridades

Propostas a serem incorporadas no Plano Diretor do município e na lei de zoneamento; proposta para a gestão da implementação do Plano, com a avaliação do sistema de gestão atual e a definição das entidades que serão envolvidas nas ações previstas; procedimentos para a fiscalização das obras, aprovação de projetos e definição das fontes de recursos; cronograma físico-financeiro; monitoramento; divulgação; interação com a comunidade; e educação.

Elaboração do Manual de Manejo das Águas Pluviais Urbanas

O manual tem como função orientar os profissionais das prefeituras, prestadores de serviços e empreendedores que atuam no planejamento e em projetos de drenagem e águas pluviais, planejamento urbanístico, projeto e aprovação de novos empreendimentos. Ele deve estabelecer critérios de planejamento, elementos hidráulicos para o projeto de estruturas de controle, critérios para a avaliação e o controle dos impactos do desenvolvimento urbano sobre o sistema de drenagem; e o controle da qualidade da água pluvial.

Mapas de risco

É pertinente que um plano de drenagem estabeleça os mapas de risco de enchentes e inundações das bacias hidrográficas contidas na área urbana para que se disponha de dados para apoiar as decisões da Defesa Civil e, quiçá, até do planejamento urbano.

Os mapas de risco podem ser de pelo menos dois tipos: *mapas de planejamento* e *mapas de alerta*. O mapa de planejamento define as áreas atingidas por cheias em tempos de retorno definidos; os mapas de alerta são utilizados durante as inundações para orientar a população e possuem os locais de inundação em função da leitura da régua no rio. A elaboração dos mapas demanda, no mínimo, informações sobre a topografia da cidade e os níveis de inundação dos cursos d'água, que geralmente possuem três faixas:

I. Áreas de passagem da água no período de inundação;

II. Áreas com restrição de uso que podem ser ocupadas por atividades que não obstruam o escoamento, como agricultura, parques, estacionamentos e áreas ambientais;

III. Áreas de baixo risco.

Infelizmente, a maioria dos Planos Diretores não contemplam restrições quanto à ocupação das áreas de risco de inundação, ocasionando os desastres vistos todos os anos nos períodos de chuvas. As cidades que possuem áreas de alto risco de cheias estão sempre sujeitas a ocorrências de impactos sobre a população, como: (i) perdas materiais e humanas; (ii) interrupção da atividade econômica nas áreas inundadas; (iii) contaminação por doenças de veiculação hídrica; e (iv) contaminação da água por carregamento de resíduos de toda ordem.

Os administradores públicos preferem recorrer à decretação de calamidade pública e aos recursos que advém desse processo nos períodos de inundação do que adotar medidas não-estruturais que envolvem restrições à população e aos interesses econômicos instalados. As medidas não-estruturais teriam que interferir em interesses de proprietários de áreas de risco, o que politicamente é complexo a nível local.

Referências – Capítulo 6

ANDJELKOVIC, Ivan. *Guidelines on non-structural measures in urban flood management*. Paris: International Hydrological Programme (IHP), 2001.

BALLARD, B.; WOODS *et al*. *The SuDS manual*. London: [s.n.], 2015.

BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. *Green infrastructure: smart conservation for the 21st century*. Washington: The Conservation Fund, 2002.

BROWN, R. R.; KEATH, N.; WONG, T. H. F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Science and Technology*, v. 59, n. 5, 2009.

CHRISTOFIDIS, Hugo do Vale. *Drenagem urbana sustentável: análise do uso do retrofit*. Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, 2010. Disponível em: https://core.ac.uk/download/33544513.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

CORMIER, N.; PELLEGRINO, P. Infraestrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. *Paisagem e Ambiente*, n. 25, São Paulo: FAUUSP, 2008.

KIAMA, Municipal Council. *Kiama Municipal Council water sensitive urban design policy*. [S.l.: s.n.], 2005.

EPA, United States Protection Environmental Agency. Protecting Water Resource with Higher-Density Development. . [S.l: s.n.], 2000. Disponível em: <www.epa.gov/smartgrowth>. Acesso em: 5 maio 2024.

FOSTER, S. *S.* D.; MORRIS, B. L.; LAWRENCE, A. R. Effects of urbanization on groundwater recharge. *In*: TELFORD, Thomas (org.). *Groundwater problems in urban areas. London*: [s.n.], 1994.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. *Cadernos temáticos de saneamento básico: drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.*

PRINCE GEORGE'S COUNTY. *Low-impact development design strategies: an integrated design approach*. Prince George's County: Department of Environmental Resources, 2000.

GONÇALVEZ, Tatiana Diniz. Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Distrito Federal. 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

GONÇALVEZ, Tatiana Diniz. Recursos hídricos no Distrito Federal: modelagem hidrológica para subsidiar a gestão sustentável na bacia do Ribeirão Pipiripau. 2012. 149 p. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

HINMAN, Curtis. *Low impact development technical guidance manual for Puget Sound*. [S.l.: s.n.], 2012.

KELLING, K. A.; PETERSON, A. E. *Urban lawn infiltration rates and fertilizer runoff losses under simulated rainfall. American Society of Agronomy*, v. 39, n. 2, 1974.

MAKSIMOVIC, Cedo. *General overview of urban drainage principles*

and practice. In: TUCCI, Carlos E. M. Urban drainage in specific climates: urban drainage in humid tropics. Paris: UNESCO, IHP-V. *Technical Documents in Hydrology*, v. I, n. 40, 2001.

MCHARG, Ian L.; SUTTON, Jonathan; SPIRN, Anne Whiston. *Woodlands new community guidelines for site planning.* Philadelphia: [s.n.], 1973.

MIKKELSEN, P. S. *et al. Estimation of regional intensity-duration-frequency curves for extreme precipitation. Water Science and Technology,* v. 37, n. 11, 1998.

NUNES, R. T. S. *et al. Incorporating water sensitive urban design (WSUD) practices into the planning context: the conceptual case for lot-scale developments.* WIT Transactions on Ecology and the Environment, v. 167, 2012.

PSAT; Wsu. *Low impact development: technical guidance manual for Puget Sound.* 2005. Disponível em: http://www.psat.wa.gov/Publications/LID_tech_manual05/lid_index.htm. Acesso em: 22 abr. 2024.

RENANDIE, Serge–L'eau, element struturant de la trame urbaine, enjeu du renouvellement et de la valorisation du patrimoine urbain.2005 ,França.

SOUZA, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 2, 2012.



7

Sistemas de abastecimento e esgotamento sanitário



As águas urbanas, tanto no que se refere ao abastecimento (água potável) como na forma de esgotos (coleta e tratamento), são responsáveis pela condição de salubridade das cidades. O reflexo das condições do abastecimento e do esgotamento é sentido na saúde da população e na integridade dos ecossistemas.

Um exemplo claro refere-se às doenças relacionadas com a baixa cobertura de água tratada e de saneamento, como a diarreia e a cólera, que possuem como origem a qualidade da água consumida. Outras enfermidades, como leptospirose, malária e dengue, se relacionam ao contato com a água poluída.

Tabela 1 – Doenças relacionadas à precariedade do ambiente doméstico

Impacto das doenças de veiculação hídrica ligadas à precariedade do ambiente doméstico nos países em desenvolvimento	
Diarreia	Falta de saneamento, de abastecimento d'água, de higiene.
Cólera	Falta de saneamento, de abastecimento d'água, de higiene.
Doenças tropicais	Falta de saneamento, má disposição do lixo, foco de vetores de doenças nas redondezas.
Verminoses	Falta de saneamento, de abastecimento d'água, de higiene.
Leptospirose	Falta de saneamento, de abastecimento d'água.

Fonte: IBGE/Agência Nacional das Águas (2010)

7.1 Lei das Águas

Para a maioria de nós, habitantes urbanos, quando se fala em gestão das águas vem à mente um dos seus usos: o abastecimento residencial e/ou o apoio aos serviços disponíveis nas cidades. Alguns também se lembrarão do lazer em rios e lagos. É importante ampliar o conhecimento sobre o tema destacando que o abastecimento é apenas um dos usos da água, aquele associado à infraestrutura urbana.

E quais são os outros usos das águas? Bem, a primeira classificação que se pode fazer refere-se ao uso consuntivo, ou seja, aquele retira e consome água, como é o caso do abastecimento, e ao não consuntivo (aquele que não consome diretamente, mas depende da sua manutenção em condições naturais, também denominado como infraestrutura hídrica), como é o caso da navegação, do turismo e do lazer, por exemplo.

Entre consultivos e não consultivos, os denominados usos múltiplos das águas, em suas classes maiores, são: abastecimento; agricultura (irrigação); lazer; geração de energia; navegação; uso industrial; e disposição de dejetos (águas pluviais, esgotos domiciliares e industriais). Diante dessa gama de possibilidades, verifica-se a existência de interesses e agentes próprios para cada tipo de uso, resultando, muitas vezes, em conflito em relação à quantidade e à qualidade.

No Brasil, para garantir as diferentes atividades e delimitar os direitos e as obrigações de cada agente, incidindo na redução de conflitos, foi publicada a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Conhecida como Lei das Águas, a legislação tem por objetivo "assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, permitindo a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável".

Usos das águas

Uma realidade brasileira consiste no fato de que a maior parte das águas encontra-se onde está a menor parcela da população e, consequentemente, a menor demanda. A Região Norte possui 68,5% das águas do país e apenas 8,5% a população. Por outro, lado na Região Nordeste encontram-se 3% dos recursos hídricos e cerca de 26,9% [1]da população. Assim, para que as necessidades continuem sendo supridas nas regiões afetadas pela escassez de água, os esforços deverão incidir no uso eficiente de todas as fontes de água (subterrâneas, superficiais e de chuvas).

Tabela 2 – Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica do Brasil

Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica do Brasil

Região	Densidade Demográfica (hab/km²)	Concentração dos recursos hídricos no país
Norte	4,12	68,5%
Nordeste	34,15	3,3%
Centro-Oeste	8,75	15,7%
Sudeste	86,92	6%
Sul	48,58	6,5%

Fonte: Agência Nacional das Águas (2010).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal nº 9.433/97, estabeleceu instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal (rios que passam por mais de um estado ou fazem fronteira com outros países) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

Sua concepção está ancorada em conceitos, princípios

1 De acordo com o Censo Demográfico 2022 do IBGE, 41,8% da população brasileira está na Região Sudeste; 26,9% na Nordeste; 14,7% na Sul; 8,5% na Norte; e 8,02% na Centro-Oeste.

e instrumentos de grande relevância e inovação na década de 1990, concebidos para mediar potenciais conflitos. Deve-se destacar o entendimento de que a água é um bem de domínio público e dotado de valor econômico, o que implica cobrança por seu uso. A água é o único recurso natural com valor na legislação brasileira, o que não é pouco.

Outros princípios a destacar são: o estabelecimento de uso prioritário, em situações de escassez, para o consumo humano e a dessedentação de animais (fazendo do abastecimento um dos usos nobres da água) e a definição da bacia hidrográfica como unidade de planejamento territorial. Do ponto de vista do planejamento urbano, este fato é da maior relevância, pois significa deixar claro que a quantidade e a qualidade das águas dependem do uso e da ocupação do solo da bacia. A internalização desse recorte territorial no planejamento urbano evitaria muitos dos problemas ambientais que geram insegurança às populações, como inundações, deslizamentos e escassez hídrica.

As decisões sobre planejamento hídrico ocorrem, em primeira instância, nos comitês de bacia hidrográfica. Somente depois é que seguem para os conselhos estaduais e nacional. Para viabilizar a participação dos diferentes entes governamentais e de entidades afetas ao setor, foi criada uma nova e importante estrutura para a gestão dos recursos hídricos composta por Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH); Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); e Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs). Nesses fóruns são discutidas e definidas diretrizes de integração com outras políticas públicas correlatas, promovendo a gestão descentralizada das bacias hidrográficas e a participação da sociedade.

Box 1 – Destaques da Lei das Águas

A Lei das Águas, ou Lei nº 9.433 de 1997, tem vários pontos importantes, entre eles:

O estabelecimento da água como um bem de domínio público e um recurso natural limitado com valor econômico.

A descentralização da gestão dos recursos hídricos, contando com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

A permissão para o uso múltiplo das águas.

A definição da bacia hidrográfica como unidade territorial para a gestão dos recursos hídricos.

A criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

A priorização do uso da água para o consumo humano e a dessedentação de animais.

A utilização dos recursos arrecadados com a aplicação dos instrumentos para financiar os planos de recursos hídricos.

A Lei nº 9.433/1997 também estabelece um conjunto de instrumentos para a gestão das águas, a saber:

- Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH): um dos principais mecanismos de gestão das águas, foi construído com a participação social e reúne diretrizes, metas e programas.
- Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH): composto por órgãos como o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a Agência Nacional de Águas (ANA), conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH), entre outros.
- Outorga do Direito de Uso de Recursos Hídricos.
- Cobrança pelo uso da água.
- Enquadramento dos corpos de água em classes.
- Planos de bacia ou região hidrográfica.

- Plano Estadual de Recursos Hídricos.
- Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

7.1.1 Enquadramento dos recursos hídricos

O primeiro passo para discutir o uso da água para abastecimento é entender como ocorre o enquadramento dos recursos hídricos. Trata-se da definição do uso múltiplo com base na demanda e na compatibilidade entre os usos. O enquadramento depende dos diferentes requisitos de qualidade para cada uso e da adequação da água para esse fim.

Para exemplificar, se o objetivo é preservar as comunidades aquáticas, será necessária uma água com certo nível de oxigênio dissolvido, temperatura, pH, nutrientes, entre outros. Por outro lado, para a navegação os requisitos de qualidade da água são bem menores, sendo relevantes a quantidade de água e os cuidados com carreamento de sedimentos que causem assoreamento do corpo d'água.

É importante ressaltar que o enquadramento é o processo decisório no qual está em jogo a qualidade da água. No caso de bacias urbanas, essa qualidade depende de fatores como controle do uso do solo, redução do escoamento superficial, gestão dos resíduos sólidos e redução de cargas poluidoras de sedimentos e esgotos.

Assim, o processo de enquadramento deve considerar aspectos técnicos, econômicos, sociais e políticos para que sejam estabelecidas metas de qualidade factíveis para cada corpo hídrico. Metas muito ambiciosas podem resultar em custos excessivamente altos e de difícil realização. Por outro lado, se as metas forem muito modestas, algumas situações de degradação das águas podem se tornar irreversíveis, impedindo seu uso múltiplo.

No Brasil, a Resolução Conama nº 357/2005 estabelece

classes de qualidade para as águas doces, salobras e salinas. As águas de classe especial (abastecimento sem tratamento, por exemplo) devem ter condição natural, não sendo aceito o lançamento de efluentes, mesmo que tratados. Para as demais classes são admitidos níveis crescentes de poluição, sendo que as classes de 1 a 4 referem-se a águas doces com decrescentes níveis de qualidade e usos associados.

Figura 1 – Classes de águas por nível de qualidade



Fonte: adaptado Resolução Conama nº 357/2005. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=102255

É relevante destacar que a classe em que se encontra a água utilizada para o abastecimento implicará níveis de exigência diferenciados para seu tratamento antes da distribuição. Sendo o tratamento a fase de maior custo do sistema de fornecimento, é importante que o manancial de abastecimento tenha boa qualidade. A mesma correlação deve ser utilizada para o lançamento da drenagem e de esgotos, ou seja, a classe do curso d'água não deve ser alterada. Para isso, os esgotos devem ser tratados e ficarem compatíveis com o curso d'água onde serão lançados. Na legislação não existe previsão de lançamento de esgoto não tratado, sendo todo tipo de lançamento nessa condição uma irregularidade no uso da água.

Figura 2 – Enquadramento dos corpos de águas doces segundo os usos a que se destinam

Usos das águas doces	Classes do enquadramento dos corpos d'água				
	Especial	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	Classe mandatória em Unidades de Conservação e Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas		Classe mandatória em terras indígenas			
Recreação do contato primário					
Aquicultura					
Abastecimento para o consumo humano	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento	Após tratamento	
Recreação do contato secundário					
Pesca					
Irrigação		Hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção da película	Hortaliças, frutíferas, parques, jardins, capôs de esporte e lazer	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais					
Navegação					
Harmonia paisagística					

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2010).

7.2 Sistema de abastecimento

De acordo com a Lei nº 11.445/2007, Lei do Saneamento, um sistema público de abastecimento de água potável consiste no conjunto de atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição.

O processo de abastecimento é iniciado com a fonte de captação de água, que desencadeará todo o sistema até a chegada nas casas das pessoas. Na linguagem técnica, esse curso de água recebe o nome de "manancial de abastecimento", e será por ele que vamos iniciar a discussão sobre o sistema: como identificá-lo e seu significado nos planejamentos hídrico e territorial urbano.

7.2.1 Definição do manancial de abastecimento e sua articulação com o Plano de Recursos Hídricos e o Plano Diretor

O enquadramento dos cursos d'água do município deve constar do Plano Estadual de Recursos Hídricos e será determinante para a escolha do/dos manancial/ais previsto/s no Plano de Abastecimento.

Entretanto, essa escolha não leva em conta apenas a qualidade da água, mas também sua localização (distância até a área abastecida) e a diferença de nível entre o manancial e a área de atendimento, uma vez que o ideal é que a rede de adução trabalhe por gravidade para que os custos sejam reduzidos. Outro critério não menos relevante é se a relação entre a demanda por água e a vazão será suficiente. Não se pode esquecer que, devido aos investimentos a serem realizados, deve-se ter uma previsão do tempo pelo qual o manancial atenderá à população (atual e futura).

Diante desses aspectos, é realizada uma avaliação geral das condições existentes no município para a tomada de decisão sobre o manancial a ser escolhido.

Box 2 – Como dimensionar a quantidade de água para abastecimento

A demanda de uma localidade por água é calculada em função do número de habitantes e da quantidade de água atribuída a cada indivíduo, levando em consideração características socioeconômicas e culturais. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), 110 litros de água é suficiente para atender as necessidades básicas de uma pessoa por dia.

No caso brasileiro, é possível encontrar referências de consumo na Norma ABNT NBR 17080:2023 que se refere a Sistemas de Abastecimento de Água para Consumo Humano (SAA) e Sistema Alternativo de Abastecimento de Água para Consumo Humano (AS), operados por prestadores de serviços de água públicos e privados.

Para os planejadores urbanos, um aspecto essencial para a definição da área de captação de água diz respeito à condicionalidade e à repercussão sobre a bacia escolhida no que se refere ao uso e à ocupação do solo.

Como dito, a escolha do manancial implica controle sobre o uso do solo de toda a bacia de captação, não se trata de apenas proteger as margens do curso de água onde ocorre a retirada. Assim, se o manancial foi escolhido por sua qualidade significa que devem ser impostas restrições de uso e ocupação para que a essa qualidade seja mantida. Caso o manancial não tenha boa qualidade, mas não exista alternativa, o plano de abastecimento deverá prever investimentos para a melhoria da qualidade da água. Isso significará não só restrições, mas contenções dos usos e ocupações já existentes.

Cabe ao planejamento urbano impedir que ocorra expansão urbana para as bacias de captação por meio de restrições impostas no zoneamento de uso e ocupação do solo do Plano Diretor. Como este se trata de um processo participativo, o tema demanda esclarecimento da população para que ela entenda os impactos sobre a qualidade da água caso as restrições não sejam cumpridas.

A gestão eficiente do uso e da ocupação do solo onde está o manancial também envolve o nível de tratamento da água a ser adotado, já que este é condicionado à qualidade da água capturada e será determinado no momento de escolha do manancial, não podendo ser alterado sem o gasto de tempo e de recursos. Outro alerta é sobre a crescente dificuldade de encontrar bacias hidrográficas com grau de controle próximas das áreas urbanas das grandes cidades brasileiras, resultando em captações cada vez mais distantes e a um custo muito alto.

Entre as situações que causam degradação dos cursos d'água, ocasionando até mesmo na perda do manancial (ainda que o tratamento atinja o nível de qualidade prevista em lei[2]), destacam-se:

- A ocupação irregular do solo;
- A ocupação e a degradação de Áreas de Proteção Permanente (APP);
- A falta de infraestrutura de saneamento (precariedade nos sistemas de esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e resíduos sólidos);
- A super exploração dos recursos hídricos da bacia para outros fins;

2 Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.

- A remoção da cobertura vegetal, erosão e assoreamento de rios e córregos;

- Atividades industriais que descumprem a legislação ambiental e lançam dejetos na bacia.

É importante atentar para o fato de que a proteção deve se dar na bacia hidrográfica como um todo, e não somente do manancial de captação, pois deve-se ter em conta que todos os contribuintes vão desaguar no manancial principal de captação.

Dessa forma, a escolha do manancial envolve implicações técnicas, econômicas e políticas:

Do ponto de vista técnico, devem ser considerados os aspectos relativos à qualidade (enquadramento), quantidade (vazão) e distância entre o curso d'água e a área a ser abastecida.

Do ponto de vista de gestão/político devem ser avaliadas as dificuldades que podem advir das restrições de uso e ocupação do solo impostas para garantir a qualidade da bacia hidrográfica de um manancial.

Do ponto de vista econômico, os aspectos anteriores resultam em custos relativos à localização; à manutenção da qualidade da água; ou ao tratamento para que a água captada atinja a qualidade necessária para a sua distribuição.

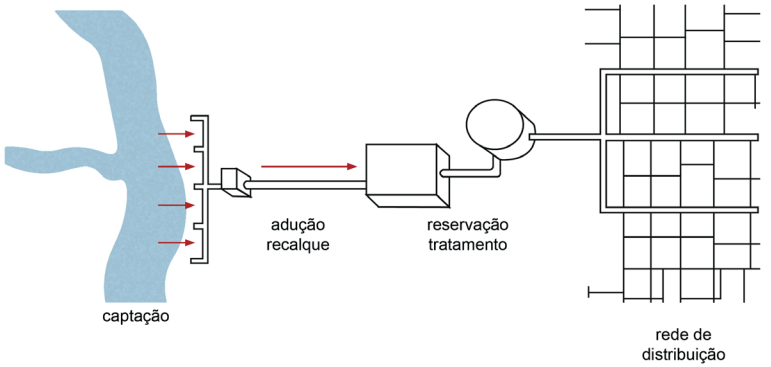
Definida uma ou mais bacias para o abastecimento, devem ser iniciados os estudos técnicos para a captação, o tratamento e a distribuição da água. Esta última etapa está mais relacionada à engenharia de saneamento do que propriamente ao planejamento urbano.

7.2.2 Componentes do sistema de abastecimento de água potável

De modo geral, um sistema de abastecimento de água potável é composto pelas seguintes infraestruturas e serviços, além da captação de água bruta: (i) adução de água bruta; (ii) adução de água tratada; (iii) estações elevatórias e/ou estações de recalque; (iv) estação de tratamento de água; (v) reservatórios; (vi) rede de distribuição de água tratada; (vii) ligação domiciliar.

Quanto à classificação, os sistemas de abastecimento podem ser isolados ou integrados. Os sistemas isolados têm a água captada em um único manancial e abastecem exclusivamente uma área de uma cidade ou até um pequeno município. Já os sistemas integrados atendem simultaneamente mais de um município, a partir de um ou mais mananciais, sendo mais comuns em grandes áreas urbanas.

Figura 3 – Esboço dos principais componentes de um sistema de abastecimento



Fonte: Desenho próprio adaptado de Juan Luis Mascaró e Mário Yoshinaga (2005).

Tipos de mananciais

Os mananciais podem ser superficiais (rios e lagos) ou subterrâneos (fontes naturais, galerias filtrantes, poços), podendo ser: (i) de solução coletiva, quando um único manancial atende a uma grande área da cidade (tem como vantagem um maior controle sanitário, pois é mais fácil controlar sua bacia e garantir sua qualidade) e (ii) de solução individual, quando a captação é por residência ou condômino (a manutenção e o monitoramento da qualidade da água é de responsabilidade do usuário ou dos condomínios). Esta solução é mais utilizada em áreas rurais devido à dispersão, que resulta em dificuldades para a implantação de redes.

A captação da água bruta dos mananciais pode ser realizada por barragens (represamento superficial de águas com fins de captação), fio d'água (com bombas no próprio curso de água superficial, como rios, lagos etc.) ou por poços artesianos (subterrâneos). O tipo empregado depende do contexto hídrico da cada região e deve estar posto no Plano Estadual de Recursos Hídricos.

Os mananciais superficiais são os mais utilizados por serem as águas naturais potabilizáveis mais acessíveis para captação. Os mananciais subterrâneos (lençóis do subsolo ou aquíferos) são captados por meio de poços rasos ou profundos (tubulares) e podem significar uma exploração mais dispendiosa não só pelos estudos para identificar a vazão e a localização dos lençóis freáticos como para instalar os mecanismos de captura.

Para quaisquer das soluções é necessário que se realize a outorga prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos. É ela que garante ao usuário, que pode ser desde uma companhia de saneamento até um indivíduo, o direito de acesso à água. Cabe ao órgão gestor da água a responsabilidade pela fiscalização e mediação dos interesses entre os diferentes usos da água.

Adução

São canalizações de grande importância para o abastecimento. Transportam a água bruta do manancial para a estação de tratamento e não possuem derivações para alimentar ramais prediais. Após o tratamento por adutoras, a água é distribuída para os reservatórios e destes para a rede de distribuição. Essas tubulações possuem grandes dimensões que, claro, dependem do volume de água transportado. Geralmente possuem a maior parte da sua extensão fora da área urbana ou nas áreas periféricas, sendo normalmente superficiais. Diversos fatores devem ser considerados para a definição do traçado de adutoras, com destaque para a topografia e as características do solo. Esses aspectos impactam no custo de construção, operação e manutenção, sendo um dos mais importantes o fato de o trajeto ser ou não realizado por gravidade, o que implica na localização do manancial em cota acima da estação de tratamento. Outro aspecto a considerar é o traçado, que deve ser o mais direto possível, evitando ou contornando acidentes geográficos ou obstáculos naturais mais críticos e de difícil travessia (rios, grotas ou grandes depressões, cumes de morros etc.).

Figura 4 – Visão geral de uma rede adutora

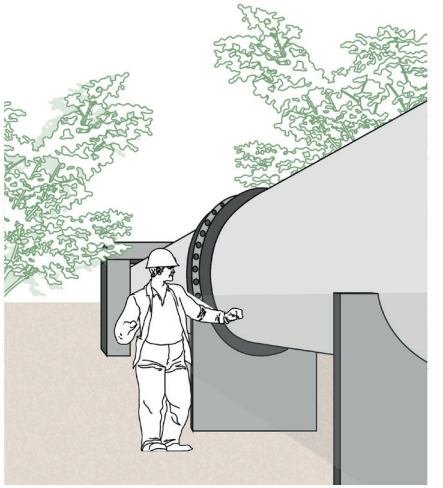


Ilustração: Leticia Evelyn.

A escolha dos materiais construtivos deve se dar em função da pressão da água, sendo mais comuns o ferro fundido e o aço. Outro ponto relevante se refere ao uso do solo, pois as adutoras demandam faixas de servidão (espaços de proteção da tubulação) que são definidas em função do diâmetro das tubulações requeridas.

Tabela 3 – Faixas de servidão para adutoras

Faixas de servidão ou desapropriação	
Diâmetro da tubulação (mm)	Largura da faixa (m)
Até 400	2,00
Acima de 400 até 800	3,00
Acima de 800 até 1500	4,00
Acima de 1500	Estudar cada caso

Fonte: Produção da autora.

Estações elevatórias e/ou estações de recalque

Consistem em instalações de bombeamento de água (bruta ou tratada) destinadas a transportar a água a pontos mais distantes ou mais elevados. Visam aumentar a pressão quando a rede vai perdendo força ou tem que mudar de bacia (deixa de trabalhar por gravidade). As estações elevatórias típicas são formadas por (i) casa de bombas (edificação própria destinada a abrigar os conjuntos motor-bomba); (ii) bomba (equipamento encarregado de impulsionar a água para recalque); (iii) motor de acionamento (equipamento encarregado do acionamento da bomba).

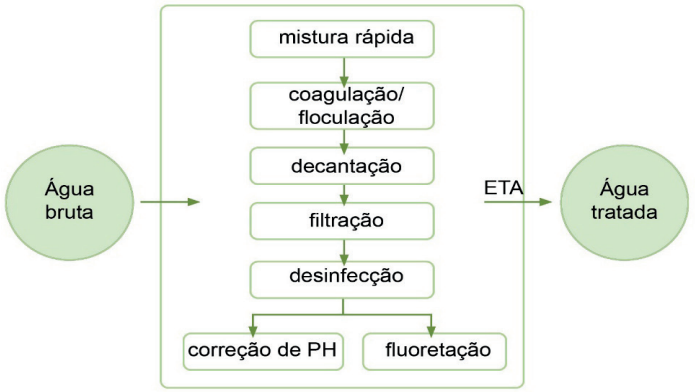
Estação de Tratamento de Água (ETA)

Conjunto de instalações físicas e operacionais destinadas a tratar a água bruta que vem do manancial pela adutora, adequando-a ao nível de qualidade estabelecido na Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, da ANA, e na Portaria de Consolidação nº 888/2021, do Ministério da Saúde. A escolha do tipo de tratamento depende das análises de parâmetros encontrados na água bruta, conforme estabelecido na Resolução Conama nº 357/2005. A diferença de qualidade entre a captação e a distribuição definirá os processos e o custo de tratamento. Portanto, o ideal é que a água bruta seja captada em um manancial classe 1.

Nesse caso, o tratamento pode ser o convencional, composto por processos sequenciais que incluem: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção da acidez. O que se faz, na prática, é adicionar produtos químicos como sulfato de alumínio e cloro, que auxiliam na remoção de microrganismos e na desinfecção da água. Ao final do processo, o pH da água é ajustado para garantir a saúde da população e preservar as redes de distribuição de corrosões.

De qualquer sorte, deve-se saber que mesmo quando a água é captada em um manancial com qualidade inferior (mas ainda dentro da Resolução Conama nº 357/2005) a distribuição se dará na mesma qualidade, sendo a diferença obtida por meio de tratamento mais complexo, implicando custos mais elevados para o município. Essa informação atribui maior responsabilidade ao gestor urbano, pois sua ação de controle do uso do solo terá repercussão nos custos de abastecimento, já que a potabilidade é a etapa mais cara do sistema de abastecimento.

Figura 5 – Fases do tratamento convencional



Fonte: Adaptado de Cadernos Temáticos Saneamento Básico, Funasa (2016).

Reservatórios

Asseguram o abastecimento contínuo, pois armazenam grandes volumes de água para garantir a demanda de pico ou até um eventual problema temporário na captação e/ou tratamento. Podem ser classificados de acordo com seu posicionamento no solo: elevado, enterrado; semienterrado ou semiapoiado. Os mais usuais são os semienterrados e os elevados. De modo geral, são construídos em concreto armado, alvenaria, concreto protendido, aço ou fibra de vidro, a depender do volume armazenado.

Além das funções já destacadas, outras situações podem ser prevenidas por um reservatório calculado de acordo com a demanda da área de atendimento, entre elas: (i) disponibilidade de água no sistema para prover demandas de equilíbrio, de emergência e de combate a incêndios; (ii) água para regular a adução com vazão e altura manométrica constantes; (iii) água para correção das condições de pressão.

Rede de distribuição de água tratada

Constitui o conjunto de tubulações destinadas a conduzir a água tratada até as instalações prediais. Pode ser formada por dois tipos de tubulação, denominados condutos: (i) condutos principais (também chamados tronco ou mestres, são as canalizações de maior diâmetro e responsáveis pela alimentação dos condutos secundários); (ii) condutos secundários (de menor diâmetro, são os que chegam até as edificações abastecidas).

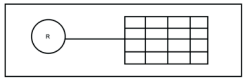
As redes de distribuição funcionam com condutos forçados, ou seja, conduzem água sob pressão, obedecendo o princípio dos vasos comunicantes (Princípio de Bernouille), ou seja, um conjunto de vasos que se intercomunicam e que quando a água está em repouso atingem o mesmo nível em todos os tubos da rede. Disposta na via, a rede de distribuição deve ficar sempre em nível superior à rede de esgoto, normalmente localizada a um terço da via. O recobrimento das tubulações dispostas em valas deve ser em camadas sucessivas de terra, de forma a absorver o impacto de cargas móveis como veículos. O projeto da rede de distribuição deve prever a instalação de registros de manobra, registros de descarga, ventosas, hidrantes e válvulas redutoras de pressão. Em algumas situações, a rede de distribuição poderá ficar localizada nas calçadas, o que muda a necessidade de profundidade das valas e de resistência da tubulação, pois receberá menor carga. Essa opção depende de um trabalho de esclarecimento junto à população para que não ocorram danos à rede.

De todos os elementos do sistema de abastecimento, a rede de distribuição é o que mais interage com o projeto urbano, uma vez que os condutos estão dispostos no sistema viário e possuem seu desenho condicionado por esse. Assim, para que os condutos principais sejam menos onerosos, deve-se considerar o tipo de pavimentação das

ruas, a intensidade do trânsito e o tipo de malha viária, que influencia o desenho da própria rede de abastecimento. Levando em conta esses aspectos, pode-se ter redes em espinhas de peixe, grelhas ou anel malhado, como pode-se ver no Quadro 1.

Cada tipo possui vantagens e desvantagens. Por exemplo, em redes de condutos em malha uma eventual interrupção no abastecimento de um trecho não criará transtornos nas áreas à jusante, pois a água pode realizar outro percurso, o que não é possível nos desenhos de única direção, onde a interrupção de um conduto prejudica sensivelmente as áreas situadas a jusante.

Quadro 1 – Tipos de rede de distribuição

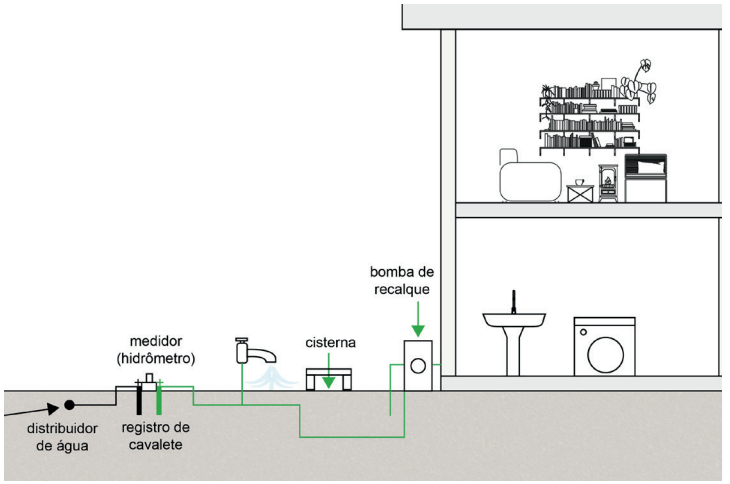
Tipos de rede de distribuição		
Tipo	Características	Detalhe
Espinha de peixe	Os condutos principais são traçados, a partir de um conduto principal central (mestre), com uma disposição ramificada que faz jus aquela denominação. É um sistema típico de cidades que apresentam desenvolvimento linear pronunciado.	
Grelha	Os condutos principais são sensivelmente paralelos, ligam-se em uma extremidade a um conduto principal e têm os seus diâmetros decrescendo para a outra extremidade.	
Anel (malhada)	Os condutos principais formam circuitos fechados nas zonas principais a serem abastecidas, resulta a rede de distribuição tipicamente malhada. É um tipo de rede que geralmente apresenta uma eficiência superior aos dois anteriores.	

Fonte: Adaptado de Cadernos Temáticos Saneamento Básico, Funasa (2016).

Ligação domiciliar

Parte da rede pública de distribuição que se conecta à rede interna de cada edificação (comercial, industrial, pública ou residencial) tornando possível controlar, medir e registrar a quantidade de água consumida por meio de um hidrômetro.

Figura 6 – Ligação domiciliar



Fonte: Adaptado de Manual da Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDEAE).

Sobre o sistema de abastecimento e sua operação, existem outros dois conceitos relevantes que devem ser compreendidos: o de desperdício e a de perda de água.

7.2.3 Zoneamento urbano do Plano Diretor e a localização dos elementos do sistema de abastecimento

Como visto, alguns elementos do sistema de abastecimento se localizam nas vias e são condicionados

pelo projeto de urbanismo, mas outros, como a estação de tratamento de águas, as elevatórias e os reservatórios, ocupam espaços dentro da cidade e, por isso, devem ser previstos no zoneamento urbano tal qual outros equipamentos públicos, como escolas, cemitérios e parques.

Assim, os critérios locacionais desses equipamentos devem ser considerados, pois não é qualquer área que atenderá suas condições de funcionamento. Por exemplo, uma estação de tratamento de água deve, preferencialmente, estar em cota abaixo do manancial e acima da área de distribuição, isso para trabalhar por gravidade e ter custo menor. Os reservatórios, idealmente, devem ser localizados em pontos mais elevados da estrutura urbana enquanto as elevatórias em pontos de mudanças de declive, já que sua função é garantir que a água tenha força para romper distâncias e declives.

Esses são alguns aspectos que precisam ser considerados pelo planejamento urbano, além das preocupações referentes ao uso e à ocupação do solo para a devida proteção de manancial, como já referido.

7.2.4 Sustentabilidade no sistema de abastecimento de água

Não existe um modelo de rede de abastecimento diferenciado que possa ser denominado como sustentável, a exemplo do que ocorre com a drenagem. Assim, adotar uma posição sustentável em relação à água não significa fazer uma rede diferente, mas adotar formas diferentes de gestão e do uso da água.

Nesse sentido, reduzir perdas e mudar hábitos de consumo para diminuir o desperdício são dois pontos de destaque em uma gestão sustentável da água, onde pode-se acrescentar o reuso.

O controle de perdas deve ser um dos pontos mais

relevantes para o órgão gestor do abastecimento. Segundo o Censo de 2022, o Brasil perde, em média, 37,8% da água potável produzida, o que equivale a 7 bilhões de metros cúbicos. Esse número permite pensar que o país não necessita de mais investimentos no setor, nem de impactar outras áreas ou realizar novas obras.

Um segundo ponto é implantar programas de incentivo ao reuso da água dentro das possibilidades locais, seja aproveitamento de águas das chuvas ou reuso de água cinza da indústria, que não demanda grandes investimentos.

Como dito várias vezes, a gestão urbana possui papel relevante para a recarga dos aquíferos e para a produção de água nos mananciais. Isso ocorre com a adoção de instrumentos de garantia da permeabilidade do solo e com o combate à impermeabilização do solo, pois sem isso não há gestão sustentável da água e nem das cidades.

Na gestão do esgotamento e resíduos sólidos, é necessário eficiência para que não aumente a poluição ao mesmo tempo em que são iniciados programas de despoluição dos recursos hídricos urbanos.

Ao setor empresarial, cabe promover sistemas produtivos mais eficientes e que gastem menos água. À população, é importante que altere seus hábitos de consumo de água de modo a reduzir a quantidade gasta diariamente, que encontra-se muito acima do recomendado pelo ONU, como já apontado neste capítulo.

Perda de água

Refere-se à água captada no manancial e que não chega ao usuário. Durante a operação da rede de abastecimento, pode ocorrer perda de água, ou seja, ela não chega ao registo da edificação e não é faturada pela gestora do sistema de abastecimento.

Essas perdas se devem a falhas do órgão operador

do sistema, sendo um reflexo da má gestão. No Brasil, a média de perdas é muito alta, chegando a 37,8%, enquanto nos países desenvolvidos esse índice é de 15%. No Quadro 2 há exemplos de razões para a perda de água.

Quadro 2 – Situações que resultam na perda de água

Localização		Origens	Magnitude
Perdas Físicas (reais)	Adução da água bruta	Vazamento nas tubulações	Variável, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
		Limpeza do poço de sucção	
	Tratamento	Vazamentos estruturais	Significativa, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
		Lavagem dos filtros	
		Descarga de lodo	
	Reservação	Vazamentos estruturais	Variável, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
		Extravasamentos	
		Limpeza	
	Adução de água tratada	Vazamento nas tubulações	Variável, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
		Limpeza de poço de sucção	
		Descargas	
	Distribuição	Vazamentos na rede	Significativa, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
		Vazamento em ramais	
		Descargas	
Perdas	Ligações clandestinas/irregulares		Podem ser significativas, dependendo de procedimentos cadastrais e faturamento; manutenção preventiva, adequação de hidrômetros e monitoramento do sistema
	Ligações sem hidrômetros		
	Hidrômetros parados		
	Hidrômetros que subestimam o volume consumido		
	Ligações inativas reabertas		
	Erros de leitura		
	Número errado de economias		

Fonte: Adaptado de Cadernos Temáticos Saneamento Básico, Funasa (2016).

Desperdício de água

O conceito de desperdício difere do de perda por se referir ao excesso de consumo. Neste caso, a água chega à edificação e é faturada pelo órgão gestor. O desperdício é um mau hábito de consumo da população expresso em situações como: (i) torneira mal fechada; (ii) banhos demorados; (iii) lavagem de calçadas e carros; (iv) escovar os dentes com a torneira aberta; e muitas outras.

Para se ter ideia, e relembrar o que foi discutido no capítulo 1, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, do Ministério das Cidades, cada brasileiro consome, em média,154 litros de água todos os dias. Esse consumo ultrapassa os 110 litros necessários de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU). Mas esse número é uma média, existindo diferenciação entre os estados. A título de exemplo, no Rio de Janeiro o consumo era de 253 litros por dia em 2013. No Distrito Federal, regiões como o Lago Sul consumiam 376 litros em 2016. Esse cenário tem mudado nos últimos anos com a crescente consciência sobre a escassez de água, mas o consumo ainda é bastante elevado.

Reuso da água

Consiste no aproveitamento de águas já utilizadas e pressupõe formas eficazes de tratamento que garantam a segurança da atividade na qual será reutilizada.

Trata-se de uma ação fundamental como estratégia de sustentabilidade, pois está em sintonia com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6) das Nações Unidas. Ele propõe, como meta a ser alcançada até 2030, a melhoria da qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos. Um dos propósitos é reduzir à metade as águas residuais não tratadas e aumentar substancialmente a reciclagem e a reutilização.

Em 2023, entrou em vigor a Lei Federal nº 14.546 que estabelece medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas de chuva e de reuso não potável das águas cinzas. Em linhas gerais, as águas cinzas são

efluentes gerados após a utilização de recursos hídricos por uma residência, exceto esgoto sanitário.

Do ponto de vista técnico, no Brasil se tem a norma NBR 17076:2024, editada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Entre outras regulações, ela estabelece as classes de reuso da água. A qualidade da água de reuso é definida por parâmetros como pH, temperatura, quantidade de oxigênio dissolvido, sólidos sedimentáveis, nitrogênio, nitrato, fosfato, coliformes fecais, óleos, graxas, entre outros.

As categorias de água de reuso são as seguintes:

- **Classe 1** – recomendada para a lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, e chafarizes.

- **Classe 2** – indicada para a lavagem de pisos e calçadas, irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.

- **Classe 3** – utilização nas descargas dos vasos sanitários (as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão).

- **Classe 4** – emprego nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos por meio de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita da safra.

Existem no país muitas experiências de reuso da água tanto em edificações e condomínios quanto em sistemas produtivos (indústria e agricultura), mas ainda inexiste um sistema público que promova abastecimento para essa modalidade. Com certeza, é uma abordagem de gestão das águas que irá crescer nos próximos anos.

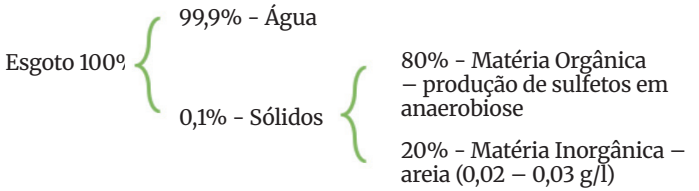
7.3 Esgotamento sanitário

As atividades urbanas geram dejetos que podem ser classificados em domésticos, industriais e de serviços. Os esgotos domésticos incluem as águas contendo matéria fecal e as águas servidas, resultantes de banho e da lavagem de utensílios e roupas, entre outras provenientes das residências. Os de serviços se assemelham aos domésticos e podem se alterar quanto ao volume. Os esgotos industriais, por sua vez, compreendem resíduos químicos e orgânicos, além das águas residuárias procedentes de indústrias dos mais diversos tipos (alimentos, químicas, metais, cerâmica etc.).

Esse entendimento é essencial, pois a rede pública de esgoto e sua estação de tratamento são destinadas à coleta e ao tratamento de esgotos domésticos. O esgoto industrial é de responsabilidade do seu gerador, cabendo a indústria, ainda dentro do seu lote, tratar e/ou reduzir sua toxidade de modo que fique compatível com o esgoto doméstico, podendo ser coletado pela rede pública.

O esgoto para dimensionamento e tratamento pela rede pública é composto por 99,9% de água e 0,1% de dejetos (sólidos). No que se refere à sua produção, estima-se que a cada 100 litros de água consumida sejam lançados, aproximadamente, 80 litros de esgoto na rede coletora.

Figura 6 – Composição do esgoto doméstico



Fonte: Adaptado de Cadernos Temáticos Saneamento Básico, Funasa (2016).

As principais características químicas dos esgotos domésticos, são: (i) cerca de 70% dos sólidos de origem orgânica, geralmente uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio e, algumas vezes, com nitrogênio; e (ii) matéria inorgânica formada principalmente pela presença de areia e de substâncias minerais dissolvidas.

Sabendo dessa composição, torna-se relevante conhecer o conceito de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), índice que mensura a quantidade de matéria orgânica e fundamental para indicar o nível de tratamento do esgoto. O tratamento visa à redução da carga orgânica e é necessário até que seja atingida a capacidade de autodepuração do curso da água onde será lançado o esgoto.

Todo curso d'água possui uma capacidade de autodepuração que depende da sua vazão e do fato de ser de água corrente (rios, córregos etc.) ou de água parada (lagos, por exemplo). Isso ocorre porque águas paradas possuem menor quantidade de oxigênio dissolvido do que águas correntes, onde a correnteza aumenta o nível de oxigênio. Assim, o lançamento em um curso d'água corrente e de alta vazão exige um nível menor de tratamento do esgoto.

Dessa forma, a Demanda Bioquímica de Oxigênio mede a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica com a cooperação de bactérias aeróbias. Quanto maior o grau de poluição orgânica maior será a DBO. Em geral, a DBO dos esgotos domésticos varia entre 100 e 300mg/L, sendo o número em mg a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar bioquimicamente a matéria orgânica presente no esgoto.

Soluções de esgotamento individual e por rede pública

A Lei nº 11.445/2007 (PNSB) define o sistema de esgotamento sanitário como sendo o conjunto de atividades, infraestrutura e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente.

Apesar de a lei prever a universalização da coleta e do tratamento do esgoto, de acordo com o Censo de 2022 somente 62,5% dos domicílios brasileiros possuem rede de coleta e 3,2% possuem tratamento individual por fossa séptica. Essas duas opções são consideradas seguras e, apesar da falta de entendimento do cidadão comum sobre o que consiste uma fossa séptica, esse é um tratamento adequado e bem diferente da fossa rudimentar que, infelizmente, está presente em 19,4% dos domicílios do país.

Coleta e tratamento individual de esgoto

A fossa séptica consiste em uma unidade que atua química e fisicamente sobre os dejetos, garantindo a purificação da água de modo que ela possa ser absorvida pelo solo. Sua utilização é recomendada quando não existe rede de esgoto pública, seja porque o poder público não a implantou seja porque não está prevista no Plano Diretor. As razões para uma área não ter previsão de rede de esgotamento incluem características morfológicas e baixa densidade.

Quanto ao meio físico, a solução da fossa séptica demanda que os lençóis freáticos não sejam altos e que o solo permita a percolação, fator essencial na remoção eficiente dos agentes patogênicos. A capacidade de percolação do solo é determinada por meio do teste de solo.

Tabela 4 – Absorção relativa do solo

Tipos de solos	Coeficiente de Infiltração Litros/ m^2 x dia	Absorção Relativa
Areia bem selecionada e limpa, variando com a grossa com cascalho.	Maior que 90	Rápida
Areia fina ou silte argiloso ou solo arenoso com humos e turfas variando a solos constituídos predominantemente de areia e silte.	60 a 90	Média
Argila arenosa e/ou siltosa, variando a areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom.	40 a 60	Vagarosa
Argila de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compacta, variando a argila pouco siltosa e/ou arenosa.	20 a 40	Semi-impermeável
Rocha, argila compacta de cor branca, cinza ou preta, variando a rocha alterada e argila medianamente compacta de cor avermelhada	Menor que 20	Impermeável

Fonte: ABNT – NBR 7.229/93.

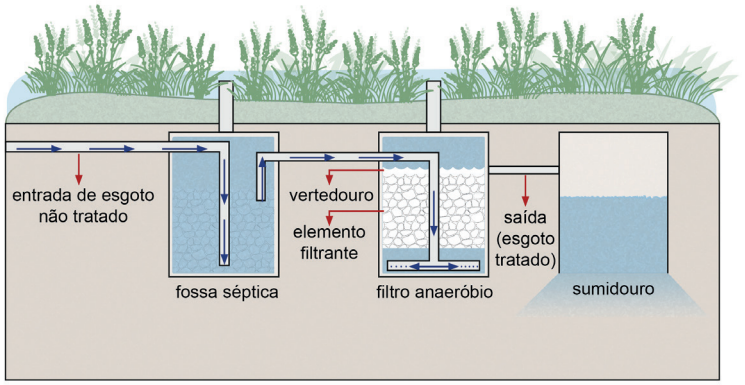
As fossas sépticas podem ser construídas no local, em alvenaria ou concreto, e devem seguir as normas da NBR 7.229/1993 e da NBR 13.969/1997. Os modelos pré-moldados podem ser inteiriço (feito de uma única peça) ou de anéis, com encaixes para sobreposição.

O funcionamento da fossa séptica decorre do direcionamento dos dejetos para o primeiro tanque, onde ocorre a decantação que separa o líquido do sólido. De acordo com o acúmulo do primeiro tanque, o líquido é canalizado para um segundo tanque onde passa por decomposição, com o auxílio de bactérias anaeróbicas, e filtrado (fossa filtro) por cascalho e areia. Após ser filtrado, o líquido cai em um terceiro tanque, chamado sumidouro, onde é devolvido por infiltração ao solo ou tratado com cloro, quando destinado para reutilização.

As águas servidas, destinadas a fossa sépticas, devem passar por uma caixa especialmente construída com a finalidade de reter gorduras (caixa de gordura). Essa medida tem por objetivo prevenir a colmatação dos sumidouros e obstrução dos ramais. Para um bom funcionamento, a caixa deve ser limpa pelo menos uma vez ao ano.

A NBR 7.229/1993 e a NBR 13.969/1997 basicamente versam sobre metragens e padrões referentes ao sumidouro e à fossa filtro, que são etapas da construção da fossa séptica, e sobre as condições elegíveis para projeto, construção e operação de sistemas de fossas sépticas. Adianta-se que a instalação deve ficar a pelo menos 30 metros de distância da residência e que o tamanho da fossa séptica depende da necessidade de uso e da quantidade de pessoas, sendo o mínimo de 1.250 litros.

Figura 7 – Esquema de funcionamento de uma fossa séptica

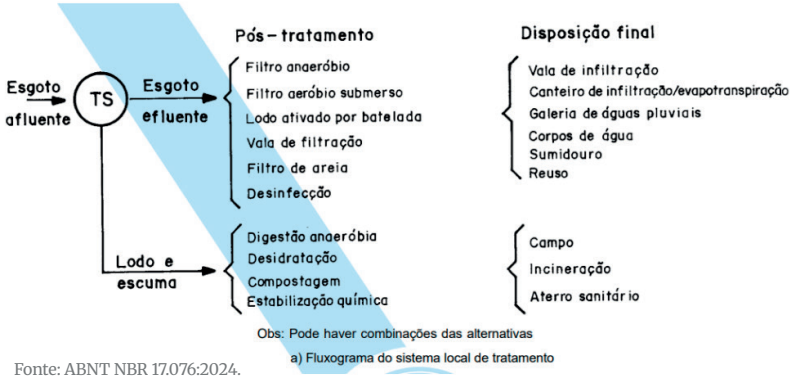


Fonte: Ilustração de Leticia Evelyn Adaptado da NBR 17.076/2024.

Já a fossa seca recebe apenas materiais sólidos e pastosos. Ela consiste em uma pequena edificação construída acima de um buraco cavado, com ou sem revestimento interno, com pelo menos 1 metro de diâmetro e 2 de profundidade, a uma distância mínima de 10 metros da casa e 15 metros de qualquer poço artesiano ou fonte de água. Ela deve ser construída de acordo com o tamanho e necessidade de cada residência e com a ABNT NBR 17.076:2024.

Existem várias outras soluções de tratamento individual que exigem mais tecnologia, embora possam apresentar vantagens em relação à sustentabilidade. É o caso das técnicas dispostas na norma ABNT NBR 17.076:2024.

Figura 8 – Fluxograma do sistema local de tratamento



a) Fluxograma do sistema local de tratamento

Fonte: ABNT NBR 17.076:2024.

Rede pública de esgoto

As redes públicas de esgoto podem ser de três modelos: (i) sistema unificado; (ii) sistema misto; e (iii) sistema separador absoluto. Como explicado no capítulo 6, os sistemas unificado e misto não são mais utilizados devido aos problemas ambientais causados pelo volume resultante da junção de esgotos e drenagem.

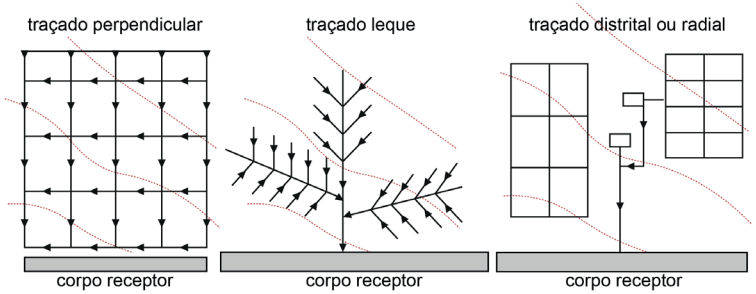
O Brasil adota o sistema separador, que possui uma rede para o esgoto e outra para a drenagem. As vantagens desse modelo podem ser assim resumidas: (i) menor custo devido à necessidade de tubulações de menor diâmetro; (ii) sistema de drenagem com custos reduzidos por poder utilizar tubulações mais baratas e poder lançar o esgoto mais próximo da coleta por não demandar estações de tratamento; (iii) redução da poluição dos recursos hídricos por receberem menor carga de esgoto.

Entre as normas técnicas em vigor sobre a elaboração de um sistema de esgotamento sanitário, destacam-se: (i) ABNT NBR 12.209, sobre requisitos para elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários; (ii) ABNT NBR 15.710, que estabelece as normas para sistemas de redes de coleta de esgoto; e a ABNT NBR 17.076, que trata de requisitos para projetos de sistemas de tratamento de esgoto de menor porte.

O sistema separador é constituído por uma rede de canalizações e dispositivos que visam o transporte seguro do esgoto das edificações para um corpo receptor. Essa rede pode ser de diferentes tipologias que possuem relação com a topografia e com o sistema viário, como (i) rede perpendicular; (ii) leque; e (iii) radial.

O traçado tipo perpendicular é empregado quando os cursos de água atravessam ou envolvem a cidade. Caracteriza-se por possuir vários coletores tronco independentes e, geralmente, perpendiculares ao curso de água. O traçado tipo leque é frequente em terrenos acidentados, onde os coletores tronco geralmente estão localizados na parte baixa das bacias. O traçado radial é característico de cidades planas e com setores independentes, normalmente situados em cotas mais baixas quando comparadas às demais. Assim, o esgoto é coletado e, com o auxílio de estações elevatórias, é recalcado para o destino final.

Figura 9 – Traçados da rede coletora



Fonte: Ilustração de Leticia Evelyn Adaptado de Alem Sobrinho, Tsutiya (1999).

Elementos de uma rede de esgotamento sanitário

Rede de esgoto é um conjunto de tubulações que coleta o esgoto nas edificações e o transporta para as estações de tratamento onde é processado até o nível de qualidade do corpo hídrico que o receberá. Essa rede pública pode ter maior ou menor número de elementos, a depender das condições do meio físico e da morfologia urbana. A seguir são descritos os principais elementos.

Coletores

Podem ser de três tipos: predial, secundário e tronco ou primário, sendo os dois primeiros os elementos com mais interferência nas edificações e no sistema viário. Por sua vez, os coletores podem estar dispostos em posições diferenciadas do sistema viário, onde se destacam três pontos diferentes: nos passeios, no eixo ou nos terços da rua. Para definição do posicionamento, é imprescindível conhecer o dimensionamento (como largura das calçadas e vias) e a classificação do sistema viário (a carga de tráfego determinará a profundidade das valas), a topografia, bem como possíveis interferências com outras redes, sejam subterrâneas ou superficiais.

Em síntese, os coletores são assim classificados:

- **Coletor predial:** são os ramais que transportam os esgotos das casas até a rede pública de coleta.

- **Coletor secundário:** recebem os esgotos das casas e outras edificações, transportando-os aos coletores troncos.

- **Coletor tronco ou primário:** tubulação da rede coletora que recebe apenas contribuição de esgoto de outros coletores.

A NBR 8.160 e a NBR 9.649 estabelecem as exigências e recomendações relativas ao projeto, execução, ensaio e manutenção dos sistemas prediais de esgoto sanitário e condições exigíveis na elaboração de projeto hidráulico-sanitário de redes coletoras de esgoto sanitário, respectivamente.

Alguns detalhes sobre tubulações de esgoto:

- A profundidade da rede coletora pode variar de 1,50m a 2,00m.

- A ligação de esgoto deve escoar com uma declividade de, no mínimo, 1%.

- Para tubos com diâmetro inferior ou igual a 75mm, a queda é de 2 centímetros por metro de tubo.

- Para tubos de diâmetro de 100mm ou superior, a queda é de 1 centímetro por metro.

Dada a natureza do esgoto, que não possui fluidez fácil por possuir partículas sólidas, é necessário prever o acesso de pessoas e de equipamentos mecânicos ao sistema para evitar ou minimizar possíveis obstruções.

Entre os elementos mais comuns, encontram-se:

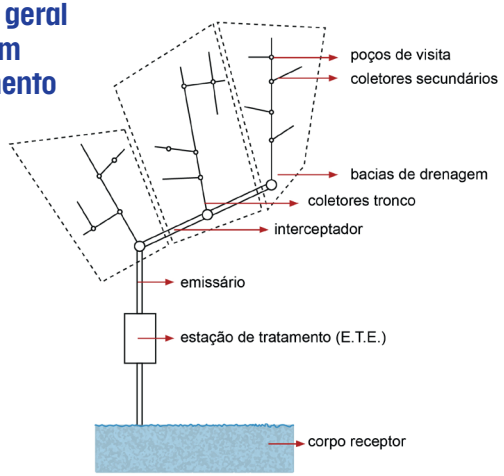
- **Poço de visita (PV):** permite a inspeção e a limpeza da rede. Os locais mais indicados para sua instalação são no início da rede e nas mudanças de direção, declividade ou diâmetro. Também podem ser instalados nas junções e em trechos longos para viabilizar a sua manutenção.

- **Caixa de passagem (CP):** é utilizada quando há mudança de declividade ou para interligar a canalização em locais curvos. Sua função é semelhante à da caixa de passagem da drenagem, discutida no capítulo 5.

- **Sifão invertido:** tem por finalidade a transposição de obstáculos e caracteriza-se por um trecho rebaixado com escoamento sob pressão.

A ABNT NBR 17.076:2024 recomenda que a distância entre os elementos seja estabelecida pelo alcance de desobstrução dos equipamentos, mas a maioria dos manuais de saneamento indica a distância de 100m entre eles.

Figura 10 – Esquema geral da composição de um sistema de esgotamento



Fonte: Ilustração : Leticia Evelyn

Estações elevatórias

São utilizadas quando as tubulações da rede adquirem grandes profundidades, seja por seu comprimento, devido à baixa declividade do terreno, ou por necessidade de transpor uma elevação topográfica. Nesses casos, é necessário bombear o esgoto para a rede continuar a fluir por gravidade, sendo a estação composta por gradeamento, poço de acumulação e bomba submersível trituradora dos dejetos.

Interceptor e emissário

Os interceptores correm nos fundos de vale margeando cursos d'água ou canais. São responsáveis pelo transporte dos esgotos gerados na sub-bacia, evitando que sejam lançados nos corpos d'água. Geralmente, possuem diâmetros maiores que o coletor tronco em função de maior vazão. Os emissários são similares aos interceptores, diferenciando apenas por não receberem contribuição ao longo do percurso.

Estação de Tratamento de Esgotos (ETE)

Objetiva o tratamento do esgoto antes do seu lançamento em um corpo receptor de qualidade compatível com sua capacidade de autodepuração, de modo que os recursos hídricos permaneçam na mesma classe de enquadramento. Desse modo, o grau de eficiência da estação deve ser analisado em função do corpo receptor ser de águas lênticas ou lóticas, além da sua vazão e qualidade. Tendo isso em mente, deve-se saber que os tratamentos são classificados em primário, secundário e terciário, conforme detalhamento a seguir.

i. Primário: remove os sólidos em suspensão por meio da sedimentação; os sólidos flutuantes por meio da flotação; e a matéria orgânica por meio da decantação e posterior formação do lodo primário bruto.

Algumas técnicas utilizadas no tratamento primário são:

Gradeamento: utiliza grades grossas, finas ou peneiras rotativas para reter sólidos em suspensão, como detritos e outros objetos.

Desarenação: utiliza caixas de areia para remover sólidos inorgânicos, como areia e terra.

Desengorduramento: utiliza caixas de gordura ou pré-decantadores para remover gorduras, óleo, graxas e outras substâncias com densidade menor do que a da água.

Decantação: sedimenta os sólidos em suspensão, que se acumulam no fundo do decantador formando o lodo primário.

O tratamento primário pode remover até 50% da matéria orgânica, 70% dos sólidos em suspensão e 75% das bactérias.

ii. Secundário: possui as fases que constam do tratamento primário com a diferença de que a remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão se dá por ação biológica, por meio de lagoas de estabilização, lodos ativados e filtração biológica.

Algumas técnicas utilizadas no tratamento secundário são:

Lagoas de estabilização: utilizam a oxidação bacteriológica e a redução fotossintética das algas para estabilizar a matéria orgânica.

Lagoas aeradas: similares às lagoas de estabilização, mas o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos.

Lodos ativados: difere pelo fato de o lodo ser misturado ao efluente em um tanque de aeração, que fornece oxigênio aos microrganismos.

Filtros biológicos: a matéria orgânica é removida do líquido por meio do crescimento microbiano na superfície do filtro.

Reatores anaeróbicos: utilizam a potencialização da degradação da matéria orgânica.

O tratamento secundário de esgotos pode atingir uma eficiência de até 95% na remoção de matéria orgânica, 95% de sólidos em suspensão e 99% de bactérias.

iii. Terciário: além de cumprir as etapas anteriores, é responsável por remover poluentes específicos, como macro-nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais pesados e compostos orgânicos recalcitrantes e/ou refratários. Também pode remover a cor ou atuar na desinfecção do despejo.

Algumas técnicas utilizadas no tratamento terciário são:

Desnitrificação: para reduzir a quantidade de nitrogênio, cria condições anóxicas, ou seja, com baixa concentração de oxigênio. Isso pode ser feito com métodos de filtragem em areia, lagoas de polimento ou sistemas de lodo ativado.

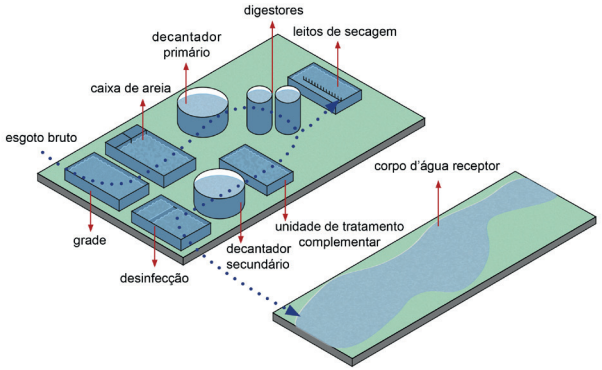
Remoção de fósforo: pode ser feita por precipitação química, com sais de ferro ou de alumínio.

Desinfecção: pode ser feita por cloração, ozonização ou radiação ultravioleta. A cloração é o método mais barato e eficiente, enquanto a ozonização é mais cara. A radiação ultravioleta não é aplicável em todas as situações.

Pela descrição, percebe-se que os níveis de tratamento são um somatório no qual os processos vão sendo

aprimorados com novas fases de purificação da água. Uma estação primária pode ser adaptada para se tornar secundária que, por sua vez, pode vir a ser terciária.

Figura 11 – Esquema de uma estação com tratamentos primário e secundário



Fonte: Ilustração de Leticia Evelyn adaptado de Juan Luis Mascaró e Mário Yoshinaga (2005).

Box 3 – Passo a passo do funcionamento de uma ET

● 1º passo

Consiste na retirada de material sólido, como grãos de terra, resíduos e partículas maiores. Para isso, os dejetos passam por um gradeamento ou caixa de areia.

As caixas de areia ou descarnadores são destinadas a reter areia e outros minerais inertes e pesados que se encontram nas águas do esgoto (entulhos, seixo, partículas de metal, carvão etc.). Têm como principal função a proteção dos conjuntos elevatórios, evitando abrasões e sedimentos incrustáveis nas canalizações e em componentes das ETEs, como decantadores, digestores, filtros, tanques de aeração etc.

● 2º passo

Na fase chamada de desarenação, a terra e a areia misturadas aos dejetos são retiradas por meio de um tubo que joga ar na água para a sujeira ficar depositada no fundo, a exemplo do que ocorre na fossa séptica.

● 3º passo

Na sequência, uma pá passa no fundo do tanque e move a sujeira para um ralo. O que sobra é chamado de lodo e, a depender das condições bacteriológicas, poderá ser usado como adubo. Esse lodo é disposto em um leito de secagem (unidade de tratamento), geralmente em forma de tanques retangulares, ou em unidades de oxidação total, onde se processa a redução da unidade com a drenagem e a evaporação da água liberada durante o período de secagem. Os leitos de secagem podem ser construídos ao ar livre ou cobertos (não comum em países tropicais) e são equipamentos que demandam muita área.

É relevante saber que a Resolução Conama nº 375/2006 estabelece os critérios e os procedimentos para o uso de lodos de esgoto em áreas agrícolas, visando benefícios para a agricultura e minimizando riscos à saúde pública e ao ambiente.

● 4º passo

Nessa fase ainda existem muitas partículas de matéria orgânica. Por isso, os dejetos passam para o tanque de aeração onde existem muitas bactérias que se alimentam do material. Um tubo de microbolhas de ar faz com que os microrganismos se tornem mais rápidos, aumentando a velocidade do processo.

● 5º passo

A partir desse momento, começa a decantação secundária. Com a utilização de uma pá giratória, os micro-organismos são separados e enviados de volta para o tanque de aeração.

Em um processo secundário, a partir deste momento o que era esgoto pode ser lançado no corpo receptor, pois o nível de retornada de patógenos terá sido de 95%. Lembre-se que o tratamento depende da classe do rio em que o esgoto será lançado. Na maioria dos casos, o tratamento secundário é suficiente. Contudo, quando o lançamento ocorre em lagos, por exemplo, será necessário um tratamento terciário para a retirada de fósforo e nitrogênio, pois as águas paradas possuem baixa capacidade de autodepuração

Zoneamento urbano do Plano Diretor e a localização de uma ETE

As estações de tratamento de esgoto demandam grandes áreas e com características locacionais específicas, o que remete novamente à necessidade de serem previstas no zoneamento urbano quando da elaboração do Plano Diretor. Claro está que as ETEs devem ficar em um ponto abaixo da área de coleta, para a tubulação (emissário) trabalhar por gravidade, e próximas do um corpo receptor que receberá os esgotos tratados.

Para se ter ideia da área que uma estação de tratamento demanda, a cidade de São José do Rio Preto (SP) possui 500 mil habitantes e sua ETE ocupa 435 mil metros quadrados. A ABNT NBR 17076:2024 – Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário define vários aspectos de funcionamento e aponta cuidados em relação à proximidade de áreas residenciais para evitar transtornos como o mau cheiro.

Esgoto condominial

O sistema condominial de esgotos é uma solução eficiente e econômica para esgotamento sanitário desenvolvida no Brasil na década de 1980. Ele se apoia, fundamentalmente, na combinação entre participação comunitária e tecnologia apropriada. O esgoto condominial proporciona uma economia de até 65% em relação ao sistema convencional de esgotamento, pois é composto por tubulações menos resistentes, dispostas a menor profundidade e com extensões menores, combinação possível por não se localizar no leito viário.

A diferença em relação ao sistema convencional está no fato de que as edificações de uma quadra formam um condomínio com caixas de esgotos que se interligam diretamente ao condutor tronco ou primário. A partir desse ponto, o resto do sistema é igual ao convencional.

O fato de os condutos que formam o condomínio passarem em calçadas, jardins ou fundos de lotes reduz distâncias e permite o uso de tubulações mais baratas, dado que recebem menos carga do que as tubulações do sistema o tradicional. Outro aspecto diz respeito ao menor recobrimento, pois a tubulação não está submetida ao risco de rompimento por não receber a carga do trânsito.

Tabela 5 – Recobrimento mínimo da rede do esgoto condominial

Localização do Coletor	Recobrimento Mínimo
No leito de via de tráfego	0,90m
No passeio	0,65m

Fonte: MELO (2008)

Tabela 6 – Profundidade mínima da rede do esgoto condominial

Tipo de Rede	Profundidade Mínima
Ramal condominial de passeio	0,70m
Ramal condominial de jardim	0,40m
Ramal condominial de fundo de lote	0,40m
Rede pública no passeio	0,80m
Rede pública na rua	1,00m

Fonte: MELO (2008)

Em uma comparação, pode-se dizer que enquanto no sistema convencional a rede precisa passar em todas as ruas, na frente de todas as casas, para o morador adequar

sua residência (fazer recuo, quebrar piso etc.) à caixa de esgoto, no sistema condominial a ligação é feita por lotes maiores (por quadras) e, geralmente, usa uma caixa no quintal de cada casa (ou na lateral), tirando a obrigação do morador de mexer na estrutura da residência.

O nome condominial advém da forma de montagem do grupo, que partilha o conjunto que se forma para juntos se ligarem ao conduto primário. Isso faz com que a participação da comunidade seja um ponto relevante. As pessoas precisam saber que esses ramais passam em uma das três opções dadas (jardim, calçada e fundo de lote) e que são corresponsáveis pela manutenção, não podendo, por exemplo, construir sobre os ramais. A implantação do sistema condominial exige tanto a participação de urbanistas, para levantar as condições de vias, calçadas, lotes e topografia, como de assistentes sociais, que devem desenvolver o trabalho de consulta à população e de reunião dos grupos que constituirão os condomínios.

Partes constitutivas do sistema condominial

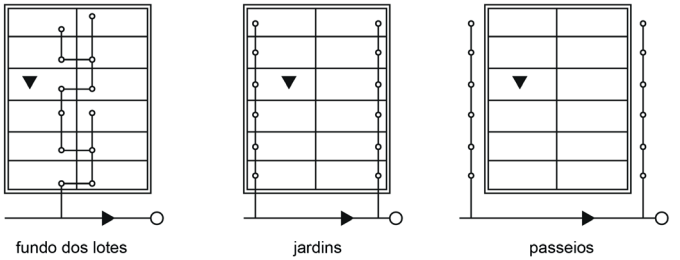
O ramal condominial consiste na rede coletora que reúne os efluentes das casas que compõem um condomínio. Ele pode ser:

- **De passeio:** quando o ramal condominial passa no passeio em frente ao lote (por fora) a aproximadamente 0,70m de distância do muro.

- **De fundo de lote:** quando o ramal condominial passa por dentro do lote, no fundo deste. É a alternativa de menor custo, pois permite esgotar todas as faces de um conjunto com o mesmo ramal.

- **De jardim:** quando o ramal condominial passa dentro do lote, porém na parte da frente.

Figura 12 – Tipos mais comuns de ramal condominial



Fonte: Ilustração de Leticia Evelyn Adaptado de MELO (2008)

Apesar de a decisão por um ou outro tipo depender das características de cada localidade, a experiência aponta a predominância do ramal de passeio, exatamente o de maior custo. Sua operação também é a mais cara, pois a responsabilidade fica a cargo do prestador de serviços, uma vez que a calçada é área pública. É possível que essa preferência se deva ao fato de ser o tipo com menor interferência no lote, deixando a população mais confortável.

Os ramais internos (jardim ou fundo de lote) podem ser as únicas alternativas em situações como favelas, regiões com altas densidades, edificações que possuem instalações sanitárias abaixo do nível das ruas ou em casas conjugadas. Por outro lado, em oposição ao ramal de passeio, são as tipologias de menor custo, incluindo a possibilidade de partilhar as despesas de manutenção entre usuários e operadora.

Referências – Capítulo 7

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2010. Brasília: ANA, 2010.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Enquadramento dos corpos d'água em classes. Brasília, 2020. Disponível em: https://www.ana.gov.br/portalpnqa/enquadramento-bases-conceituais.aspx. Acesso em: 22 abr. 2024.

ALÉM SOBRINHO, Pedro e TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Coleta e transporte de esgoto sanitário. . São Paulo: Epusp/PHD. . Acesso em: 26 nov. 2025. , 1999

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro. Manual técnico. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: https://www.facebook.com/photo.php?fbid=1118216515304717&id=709550009504705&set=a.729883254138047. Acesso em: 22 abr. 2024.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. Cadernos temáticos de saneamento básico: esgotamento sanitário. Ministério da Saúde, Brasília, 2016. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Esgotamento+Sanit%C3%A1rio.pdf/8bf6a259-872e-4030-b3ca-af92689d8bd8?version=1.0. Acesso em: 22 abr. 2024.

MASCARÓ, Juan Luis; YOSHINAGA, Mario. Infraestrutura urbana. Porto Alegre: [s.n.], 2004.

MELO, José Carlos. La experiencia de los sistemas de agua y alcantarillado condominiales en Brasil: estudios de casos de Brasília, Salvador y Parauapebas. Washington: Banco Mundial, 2005.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki; ALEM SOBRINHO, Pedro. Coleta e transporte de esgoto sanitário. São Paulo: USP, Departamento de Sociologia, 1999.



8

Gestão de resíduos sólidos



A mudança de visão sobre a forma de lidar com os descartes das atividades humanas decorre da consciência sobre os impactos que o volume e a periculosidade desses resíduos passaram a significar para o ambiente e as pessoas, além dos sustos associados a uma gestão que apenas continue coletando e fazendo a disposição final. Essa mudança passa a exigir o aumento da reciclagem com a adoção de tecnologias que atribuam valor comercial aos resíduos sólidos, utilizando-os como matéria-prima ou insumo. Em complementação à reciclagem, se faz necessária a disposição final dos rejeitos em aterros sanitários e o combate a qualquer tipo de disposição em lixões.

Box 1 – Conceitos fundamentais

O que são resíduos sólidos?

São resíduos nos estados sólido e semissólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços de varrição ou agrícola e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle da poluição, além de líquidos que não possam ser lançados na rede pública de esgotos, em razão das suas particularidades.

O que significa gestão de resíduos sólidos?

Conjunto de ações que envolve coleta, armazenamento, transporte, tratamento, destinação final e disposição final e que objetiva a minimização da produção de resíduos e sua reciclagem de modo a promover a redução da pressão sobre recursos naturais e a salubridade dos ambientes construídos, sejam urbanos ou rurais.

Política Nacional de Resíduos Sólidos

No Brasil, a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, foi aprovada após uma tramitação de mais de vinte anos no Congresso Nacional. Ela definiu diretrizes, princípios, objetivos e instrumentos específicos para a gestão dos resíduos que contemplam essa nova visão. Entre seus princípios básicos, destacam-se as responsabilidades dos três entes federados (União, estados e municípios), do setor produtivo e da sociedade em geral na busca de soluções para uma gestão de resíduos sólidos que garanta o máximo de reaproveitamento e reciclagem com a minimização de rejeitos.

Box 2 – Os 3Rs dos resíduos sólidos

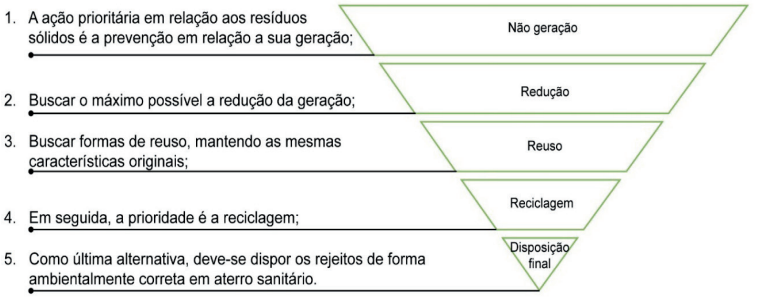
Reaproveitamento: Uso de resíduos sólidos como insumo ou matéria-prima para outros processos e/ou atividades.

Reciclagem: Processo de modificação dos resíduos sólidos que envolve a alteração das suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões de segurança ambiental.

Rejeito: Resíduos sólidos que, após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final em aterro sanitário ou incineração.

Assim, de acordo com o princípio da responsabilidade compartilhada, os cidadãos são responsáveis não só pela disposição correta dos resíduos que geram, mas, também, por hábitos de consumo que resultem na redução de resíduos. O setor privado é responsável por gerenciar seus resíduos dentro do que estabelece a lei, com destaque para a reincorporação dos resíduos na cadeia produtiva por reutilização e/ou reciclagem. Por sua vez, os governos federal, estaduais e municipais são responsáveis pela implementação dos instrumentos previstos na PNRS, com destaque para a elaboração e a implementação dos planos de gestão de resíduos sólidos, assim como garantir o direito da sociedade de ter informações e controle social sobre a gestão dos resíduos.

Figura 1 – Hierarquia da gestão e gerenciamento dos resíduos



Fonte: Ilustração de Leticia Evelyn adaptado de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Fundação Escola Nacional de Administração ENAP, 2017 Pública,https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4923/1/PGRS_ENAP_R2.pdfBrasília

8.1.1 Pontos de destaque da lei

A Lei nº 12.305/2010 definiu a elaboração dos Planos Nacional, Estaduais e Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, tendo sido estabelecido o prazo de quatro anos para essa meta. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos foi elaborado e discutido em audiências públicas regionais pelo país e sua aprovação se deu por meio do Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022, ou seja, doze anos após a promulgação da lei. No Plano foram definidas metas de reciclagem e, ainda, de fechamento dos lixões. Os planos municipais, por sua vez, possuem taxa de

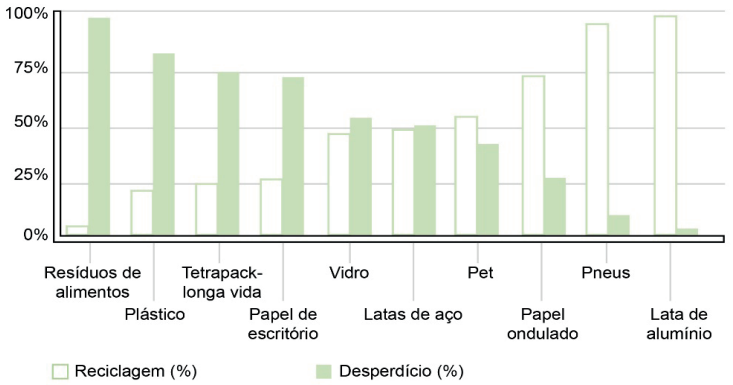
elaboração de 51,1%, o que equivale a 2.585 municípios com Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (Diagnóstico Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, 2022).

Em relação ao fechamento dos lixões, em 2010 foi definido o prazo de 2 de agosto de 2014. Após quatro adiamentos, foi estabelecida a data de 2 de agosto de 2024, que igualmente não foi cumprida. De acordo com a Pesquisa de Resíduos Sólidos de 2023, o Brasil ainda possui mais de 3 mil lixões, dos quais 41,5% estão no Nordeste (Diagnóstico Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, 2022). Nesses lixões, ainda existem milhares de catadores e crianças vivendo em condições sub-humanas. Assim, 15 anos após a determinação de extinção dos lixões, essa meta básica não foi alcançada, demonstrando o desafio que os resíduos representam para nossa sociedade.

Quanto à atuação do setor privado, a implantação da logística reversa por meio da reciclagem não passa de 7% no país. A logística reversa refere-se à obrigatoriedade, definida na lei, do retorno de embalagens e produtos para os fabricantes, a exemplo de: lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio, de mercúrio e de luz mista; pilhas e baterias; pneus; agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; medicamentos; óleos lubrificantes; produtos eletroeletrônicos e seus componentes; embalagens plásticas, de vidro e metal. Em 2024, foram definidas as Novas Diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que tratam da logística reversa e da compensação de resíduos. Nelas constam metas repactuadas com o setor produtivo visando alterar o panorama atual.

A partir de 2024, as empresas devem compensar 30% do total de resíduos gerados, aumentando esse percentual em relação aos anos anteriores. Essa medida visa impulsionar a responsabilidade ambiental das empresas e promover práticas mais sustentáveis em suas operações.

Figura 2 – Ranking da reciclagem e do desperdício no Brasil



Fonte: Ilustração de Leticia Evelyn adaptado de Cempre, https://cempre.org.br/central-de-conhecimento/#taxas .

Gerenciamento de resíduo sólidos municipais

Como visto, os municípios têm obrigação legal de elaborar Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos que visam promover os 3Rs (redução, reutilização e reciclagem) dos resíduos do seu território. A partir dos princípios gerais enunciados na lei federal, os municípios devem conhecer as atividades, os volumes e as características dos seus resíduos, bem como definir estratégias para gerenciar o que lhe cabe e acompanhar e fiscalizar grandes geradores.

Grandes geradores são pessoas físicas ou jurídicas que produzem mais de 120 litros de resíduos não recicláveis por dia em estabelecimentos de uso não residencial. São exemplos:

- Comércios (como supermercados, padarias, bares, papelarias, lojas de roupas e restaurantes).

- Prestadores de serviços (como buffets, festas, eventos e feiras).

- Terminais rodoviários e aeroportuários.

- Condomínios comerciais e mistos (empresariais e residenciais).

O Decreto nº 7.404/2010 regulamentou a Lei nº 12.305/2010, que contém os requisitos mínimos para a elaboração do plano da gestão integrada de resíduos sólidos do município. Entre suas determinações, estão:

> *Art.51. Os Municípios com população total inferior a vinte mil habitantes, apurada com base nos dados demográficos do censo mais recente da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia Estatística - IBGE, poderão adotar planos municipais simplificados de gestão integrada de resíduos sólidos.*
>
> *§1º Os planos municipais simplificados de gestão integrada de resíduos sólidos referidos no caput deverão conter:*
>
> *I - Diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, com a indicação da origem, do volume e da massa, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;*
>
> *II - identificação das áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o § 1o do art. 182 da Constituição e o zoneamento ambiental, quando houver;*
>
> *III - identificação da possibilidade de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando a economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;*
> *IV - identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos ao plano de gerenciamento ou ao sistema de logística reversa, conforme os arts. 20 e 33 da Lei nº 12.305, de 2010, observadas as disposições deste Decreto e as normas editadas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS;*
>
> *V - Procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotadas nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, em consonância com o disposto na Lei nº 11.445, de 2007, e no Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010;*
>
> *VI - Regras para transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20 da Lei nº 12.305, de 2010, observadas as normas editadas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS, bem como as demais disposições previstas na legislação federal e estadual;*
>
> *VII - definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização pelo Poder Público, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos;*
>
> *VIII - programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização, a coleta seletiva e a reciclagem de resíduos sólidos;*
>
> IX - programas e ações voltadas à participação de cooperativas e associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, quando houver;
>
> X - sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços, observado o disposto na Lei nº 11.445, de 2007;
>
> XI - metas de coleta seletiva e reciclagem dos resíduos;
>
> XII - descrição das formas e dos limites da participação do Poder Público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitado o disposto no art. 33 da Lei nº 12.305, de 2010, e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
>
> XIII - identificação de áreas de disposição inadequada de resíduos e áreas contaminadas e respectivas medidas saneadoras; e
>
> XIV - periodicidade de sua revisão".

8.2.1 Classificação dos resíduos e responsabilidades

A classificação dos resíduos se faz pela natureza, composição química, riscos e origem. Ela visa definir tanto a responsabilidade pela gestão quanto possibilidades de manejo adequado (reaproveitamento, reciclagem ou disposição final).

I – Classificação pela natureza

Seco: papéis, plásticos, metais, tecidos, vidros, madeiras, guardanapos e folhas de papel, pontas de cigarro, isopor, cerâmicas, porcelana, espumas e cortiças.

Úmido: sobras de comida, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, legumes e alimentos estragados.

Considerando a composição química:

Orgânico: pó de café e chá, restos de alimentos, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, alimentos, papel e podas de jardim.

Inorgânico: produtos manufaturados, tais como plásticos, vidros, borrachas, tecidos, metais (alumínio, ferro, etc.), isopor, lâmpadas, velas, parafina, cerâmicas, porcelana, espumas, cortiças, etc.

II – Classificação pela periculosidade

Resíduos perigosos: aqueles que, em razão de características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental.

Resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados no item acima.

III – Classificação quanto à origem

Resíduos domiciliares: gerados em residências – papel, jornais, embalagens de plástico, papelão, vidros, latas, restos de alimentos, trapos, folhas e outros. O setor público é responsável pela coleta e destinação.

Resíduos de limpeza urbana: gerados nas ruas e praças, são recolhidos na varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana. São deixados indevidamente nas ruas pela população ou retirados de residências por meio de serviço de remoção especial: varrição, capina, poda de árvores, raspagem, entulhos de obras, móveis velhos, entre outros. O setor público é responsável pela coleta e destinação.

Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: gerados em estabelecimentos comerciais ou de pequenos geradores não considerados domésticos. Grandes volumes de papelão e sacos plásticos, por exemplo. Responsabilidade do gerador.

Resíduos industriais: gerados nos processos produtivos e instalações industriais, nos vários tipos de indústrias. São três possibilidades: 1) igual ao domiciliar; 2) formada por rejeitos e resíduos de processamentos; e 3) resíduos tóxicos e perigosos, como químicos, explosivos e inflamáveis. Responsabilidade do gerador.

Resíduos de serviços de saúde: gerados em serviços de saúde (hospitais, postos de saúde, clínicas, farmácias, laboratórios etc.), conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS). Consistem em itens como agulhas, seringas, gazes, luvas, órgãos e tecidos removidos, remédios vencidos e curativos. Responsabilidade do gerador.

Resíduos da construção civil: gerados em construções, reformas, reparos e demolições de obras, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis. Responsabilidade do gerador.

Resíduos agrossilvopastoris: gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades. Formados por restos de plantios, esterco de animais e embalagens impregnadas com pesticidas e fertilizantes químicos utilizados na agricultura. Os resíduos perigosos precisam de tratamento especial. Responsabilidade do gerador.

Resíduos de serviços de transportes: gerado em portos e aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, bem como radioativos. Materiais que, por suas características,

podem representar risco à saúde e necessitam de cuidados no acondicionamento, na manipulação e na disposição final: entulhos, tóxicos, pilhas e baterias. Responsabilidade do gerador.

Resíduos de mineração: gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios. Responsabilidade do gerador.

8.2.2 Acondicionamento, coleta, destinação e disposição final

O acondicionamento é a etapa da gestão de resíduos que se inicia logo após a geração e refere-se ao processo de acomodação dos resíduos em recipientes adequados para a coleta e o transporte. O objetivo do acondicionamento é garantir que os resíduos cheguem ao seu destino ou disposição final de forma segura, ou seja, sem perda de material ou vazamentos. Esse processo exige cuidados diferentes a depender do grau de periculosidade do resíduo, como é o caso de resíduos da saúde, industriais e outros considerados perigosos.

A coleta ocorrerá de acordo com o tipo de resíduo, sendo os domésticos e os de limpeza urbana responsabilidade do poder público e os demais do seu gerador. A destinação refere-se à reutilização, à reciclagem, à compostagem, à recuperação, ao aproveitamento energético ou outras destinações admitidas em lei.

Já a disposição final consiste na deposição dos rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar impactos socioambientais. A disposição final deve ser reservada para os casos em que foram esgotadas as possibilidades de não geração, reaproveitamento ou reciclagem do material. Tanto a destinação como a disposição final seguem a mesma lógica da coleta, sendo os resíduos domésticos e de limpeza urbana de responsabilidade do poder público e os demais dos geradores.

Entre os resíduos destacados, serão discutidas as interfaces com a estrutura da cidade para a coleta, a destinação e a disposição final daqueles classificados como domésticos e de limpeza urbana. Os resíduos da construção civil serão tratados devido à sua relação com a atividade profissional de arquitetos e urbanistas.

8.3 Limpeza urbana

A limpeza pública urbana é um serviço básico para a manutenção da cidade e que depende, em grande parte, do apoio dos cidadãos. Trata-se de um conjunto de ações que envolvem a coleta domiciliar de resíduos sólidos e a manutenção de áreas públicas, como ruas, praças, parques, avenidas e praias. É a parte do gerenciamento de resíduos mais visível pela população e aquela que garante a salubridade dos espaços públicos e a qualidade visual da paisagem urbana. Os serviços de limpeza urbana abrangem uma série de ações, como:

- Coleta de resíduos domiciliares.
- Varrição de ruas, calçadas, meios-fios e canteiros centrais.
- Limpeza de praças e parques.
- Lavagem de monumentos públicos.
- Raspagem de sarjetas.
- Roçada e capinação.
- Desobstrução de bueiros.
- Poda de árvores.
- Limpeza de bocas de lobo.

- Limpeza após feiras livres.
- Pintura de meio-fio.
- Disposição dos resíduos nos centros de triagem e/ou disposição final.

8.3.1 Coleta e transporte de resíduos

No Brasil, hoje com uma população da ordem de 210 milhões de habitantes, cada pessoa produz, em média, 343 quilos de resíduos sólidos por ano, o que equivale a quase 1 kg por dia. Claro que aqui se fala de uma média nacional, existindo diferenciações regionais e entre grupos de renda.

A coleta é a fase com maior interferência do sistema viário, pois sua eficiência vai depender das condições das vias e do trânsito da cidade. A configuração urbana ou das suas frações deve ser analisada para a estabelecer itinerários, tempos de cobertura das rotas e, ainda, o tipo de veículo a ser utilizado.

Se o bairro é de lotes residenciais unifamiliares, o itinerário será maior em distância e tempo para coleta do mesmo volume que outro bairro mais adensado, com o mesmo uso, mas em edifícios. Nesse caso, terá que ser avaliado se o mesmo veículo será utilizado e se é viável a coleta diária no bairro mais disperso, pois esse demanda um custo maior.

Outro aspecto a ser analisado é a topografia e a largura das vias, pois essas também possuem interferência no tempo e no modelo de veículo. As calçadas ou outros locais de disposição dos resíduos pela população devem ser considerados para facilitar o acesso dos garis, mas sem criar desconforto visual de depósitos de resíduos nas vias.

Essas condições estão sendo apontadas para que o urbanista tenha em conta que o sistema viário e a morfologia urbana possuem interferência na coleta de resíduos. Portanto, é imprescindível que a coleta de resíduos sólidos seja considerada quando da elaboração do projeto de urbanismo ou em decisões de planejamento urbano que impliquem em mudanças de uso e ocupação do solo. Quando não solucionadas em projeto ou com normas urbanas, as empresas de limpeza e/ou a população farão improvisações, resultando em um espaço público insalubre e visualmente desagradável.

Em relação aos tipos de coleta, tem-se:

- **Coleta regular domiciliar:** normalmente utiliza caminhões compactadores em rotas diárias (ou em dias alternados) para o transporte até uma unidade de tratamento ou de disposição final, sendo um serviço de responsabilidade do poder público que pode, por lei, aplicar cobrança aos moradores.

- **Coleta da limpeza pública:** trata-se de uma operação realizada em conjunto com a programação de limpeza dos diferentes bairros e dos serviços que englobam a limpeza pública. A responsabilidade é do poder público, que pode realizar de forma direta ou por meio da terceirização.

- **Coleta seletiva:** utiliza caminhões próprios que recolhem os resíduos de forma separada e em dias específicos, conforme o programa de coleta seletiva da cidade.

Geralmente, existe a separação entre seco e molhado/úmido, de modo a facilitar o reaproveitamento e/ou reciclagem. Entre os secos, é possível selecionar plásticos, vidros, papéis e metais. Entre os molhados/úmidos, matéria orgânica, óleo de cozinha usado e outros. Essa coleta é enviada a centros de triagem operados pelas prefeituras e/ou organizações de catadores, onde os resíduos são separados e encaminhados para reaproveitamento, reciclagem ou compostagem. Os

rejeitos são encaminhados à disposição final.

As estações de transferência, ou transbordo, são locais onde os caminhões coletores vazam sua carga para veículos com carrocerias de maior capacidade que seguem até o destino. Têm como objetivo reduzir o tempo de transporte e, consequentemente, os custos com o deslocamento do caminhão coletor do ponto final do roteiro até o local da disposição final do lixo. Trata-se de mais um aspecto da gestão de resíduos que demanda a definição de uma localidade na estrutura da cidade.

8.3.2 Coletas especificas e de responsabilidade dos geradores

De acordo com a Política Nacional de Resíduos, os grandes geradores (pessoa física ou jurídica) devem elaborar e implantar seu PGRS, que devem ser aprovados pelo município.

Coleta de resíduos de saúde e industriais: a legislação define que a coleta de unidades que prestam serviços de saúde, tais como hospitais, clínicas, farmácias e clínicas veterinárias, sejam realizadas de forma exclusiva, com equipamento adequando e funcionários treinados para garantir a segurança. O mesmo ocorre com os resíduos gerados por indústrias. Os serviços de coleta e disposição final são realizados por empresas especializadas, às custas dos geradores, que devem possuir licenças dos órgãos ambientais para o transporte de cargas perigosas e sua disposição final.

Coleta de resíduos da construção civil (RCC): os resíduos de obras e reformas, tanto de pequenos como de grandes geradores, devem ser coletados por caçambas fixas ou caminhões especiais. Seu destino são os aterros de inertes, que não é o aterro sanitário. Da mesma forma que os resíduos de saúde e indústrias, esse tipo de resíduo é de responsabilidade do gerador. No caso de grandes geradores, esses devem ter seu próprio plano de gestão de resíduos. Já os pequenos geradores devem seguir as normas estabelecidas no plano de gestão de resíduos do município.

8.3.3 Destinação final

A destinação final consiste em determinar a forma de manejo que melhor se aplica ao resíduo: reutilização, reciclagem, aproveitamento energético ou, se não houver nenhum tipo de aproveitamento previsto na política de resíduos sólidos do município, seu encaminhado para a disposição final em um aterro sanitário e/ou de rejeitos.

A reciclagem é o processo de reaproveitamento que envolve mudanças no estado físico, físico-químico ou biológico do resíduo, de modo a lhe atribuir características para que ele se torne novamente matéria-prima ou produto. Ela reduz a pressão sobre a natureza na busca por matéria-prima nova. Sua operação exige o licenciamento ambiental. As tecnologias de reciclagem mais utilizadas podem ser separadas em três grupos: tratamento mecânico; tratamento bioquímico; e tratamento térmico/energético.

Reciclagem química: trata-se da transformação do resíduo em matéria-prima para a reaplicação na fabricação de novos elementos. O processo acontece com o uso de altas temperaturas ou reagentes químicos, fatores que variam de acordo com o tipo de resíduo e o produto final esperado.

Reciclagem mecânica: trata-se da trituração, limpeza e reprocessamento do material (plástico, metal, vidro etc.) para reutilizá-lo na fabricação de novos materiais com as mesmas características químicas. Nesse caso, o material sofre alterações físicas por meio da moagem e do derretimento a altas temperaturas, mas mantém as características químicas do composto original.

Reciclagem energética: trata-se da transformação dos resíduos em energia elétrica e/ou térmica. Utiliza materiais que não podem passar por reciclagem mecânica ou química. Consiste no reaproveitamento da capacidade calorífera dos materiais e traz grandes benefícios, pois além de diminuir os resíduos deixa de demandar novas fontes de geração de energia.

A legislação determina que os planos de gerenciamento de resíduos municipais estabeleçam alternativas de acordo com a tipologia dos resíduos, para que sejam alcançados os objetivos de reutilização e reciclagem. Mas, para que ocorra a reutilização ou a reciclagem, a coleta seletiva é necessária e deve ser realizada com a separação dos resíduos de acordo com o destino final almejado.

A reciclagem exige mais do que a iniciativa do município, pois é um processo que depende do setor produtivo, sendo necessário, além da articulação entre o poder público e empresários, que o município possua um setor industrial instalado e que seja viável o transporte dos resíduos para um parque industrial com capacidade de processá-los. O Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta a Lei nº 12.305/2010, criou a figura do Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, que trata da obrigação de as empresas reciclarem ou darem uma disposição final segura aos resíduos que produz.

Outra etapa da destinação final que cabe ao município, e faz parte de um programa de coleta seletiva, é o envio dos resíduos para centrais de triagem. Ali eles ficam estocados até o encaminhamento para uma das alternativas de gerenciamento: reutilização, reciclagem ou recuperação energética, como prevê a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A definição dessas localidades deve fazer parte do plano de gerenciamento de resíduos, em comum acordo com o zoneamento de uso do solo do município.

Alguns materiais comuns entre os resíduos e que possuem grande potencial de reciclagem, são:

- **Papéis:** Todos os tipos de papeis são recicláveis, inclusive caixas do tipo longa-vida, mas o material deve estar livre de matérias orgânicas e não pode estar misturado com cigarro, fitas adesivas e fotografias, por exemplo.

- **Plásticos:** É o material mais complexo, pois cerca de 90% do lixo produzido no mundo é à base de plástico. Existe grande diversidade de tipos, com potenciais diferentes de reciclagem. Alguns são mais rentáveis e há os que não são aproveitáveis.

- **Vidros:** São totalmente recicláveis, exceto lâmpadas, cristais, espelhos, vidros de automóveis ou temperados, cerâmica e porcelana.

- **Metais:** Além de todos os tipos de latas de alumínio, é possível reciclar tampinhas, pregos e parafusos.

- **Isopor:** Apesar de reciclável, seu processamento não é economicamente viável. O descarte deve ser realizado junto com os plásticos, pois algumas empresas o transformam em matéria-prima para blocos de construção civil.

Existem dois processos de reciclagem que o município pode realizar sem necessariamente contar com um parque industrial: a compostagem (que é muito simples) e a incineração de materiais perigosos (que demanda equipamento próprio).

Compostagem

Consiste na forma mais simples de reciclagem. É um processo natural e biológico que transforma resíduos orgânicos em adubo, e pressupõe que, pelo menos, o material orgânico seja separado. A compostagem passa pela fase da fermentação, onde ocorre a ação dos microrganismos, fungos, bactérias, protozoários, vermes e insetos, e depois seu amadurecimento. Como resultado secundário, é produzido gás carbônico, vapor d'água e calor. Quanto maior a variedade de materiais orgânicos (restos de frutas, legumes, cinzas, folhas secas, fezes de bovinos, ovinos, aves, caprinos, equinos, leporídeos), mais o composto terá uma aparência de cor marrom escura, cheiro bom de terra e boa qualidade para adubagem. O produto final tem por objetivo principal nutrir os solos que produzem alimentos e reduzir o uso de fertilizantes químicos. Se toda a matéria orgânica produzida pelos resíduos domésticos do país passasse pela compostagem haveria uma redução de 60% a 70% dos resíduos úmidos dispostos em lixões e aterros sanitários.

Incineração

É um processo de maior complexidade no que se refere aos impactos ambientais. A incineração é um tipo de tratamento por meio do qual os resíduos são queimados em temperaturas superiores a 800ºC. Ela gera dioxinas e furanos, compostos altamente tóxicos emitidos pela chaminé do incinerador, juntamente com os demais. Após a queima, a cinza restante é endereçada a aterros de resíduos perigosos, e a emissão de gases precisa ser controlada com filtros adequados e que respeitem os padrões legais estabelecidos. No Brasil, a Lei nº 12.305/2010 proíbe a incineração de resíduos domésticos, sendo a incineração autorizada somente para casos muito específicos. Os resíduos mais comumente incinerados são alguns tipos de resíduos industriais e de serviços de saúde (químicos e infecciosos) que podem provocar danos maiores se encaminhados a um aterro sanitário ou de resíduos industriais.

8.3.4 Disposição final

Consiste na última etapa do gerenciamento de resíduos e deve ser feita de acordo com a natureza destes. Os resíduos podem ser destinados a aterros sanitários, normalmente gerenciados pelo poder público e recebem resíduos domésticos, ou a aterros de inerte, que recebem os entulhos, aterros de resíduos perigosos ou para tratamento térmico, que são destinos a cargo dos geradores. Estes podem contar com serviços de empresas especializadas. Em todos os casos, os espaços necessitam de licenciamento ambiental para que sua operação seja segura.

No Brasil, devido às condições de insalubridade ainda existentes, existem três tipos de aterros de resíduos sólidos domésticos: os aterros sanitários (única forma correta e segura), os aterros "controlados" e os 'lixões", que devem ser desativados.

Aterro controlado

Os resíduos são colocados sobre o solo, compactados com tratores e cobertos com terra. Tal procedimento reduz riscos para a saúde pública, mas não prevê captação ou tratamento para o chorume e os gases poluentes liberados na atmosfera. Mal operado, este tipo de "aterro" é, na prática, um lixão.

Figura 3 – Aterro controlado

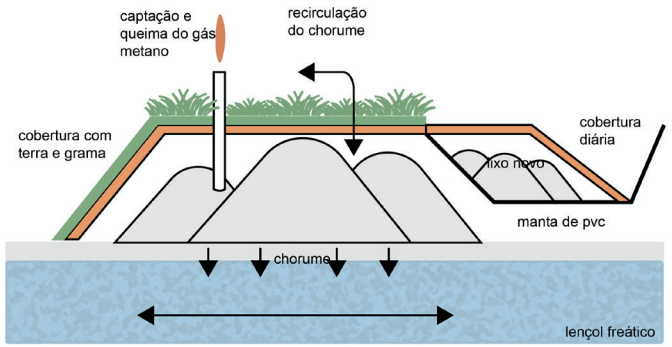


Ilustração de Leticia Evelyn.

Lixão

Local onde o lançamento dos resíduos é realizado sem nenhuma medida de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Por ser uma disposição que apresenta baixo custo, grande parte dos municípios brasileiros ainda se utiliza deste sistema, geralmente localizado em baixadas (vales) ou sobre cursos d'água.

Figura 4 – Lixão

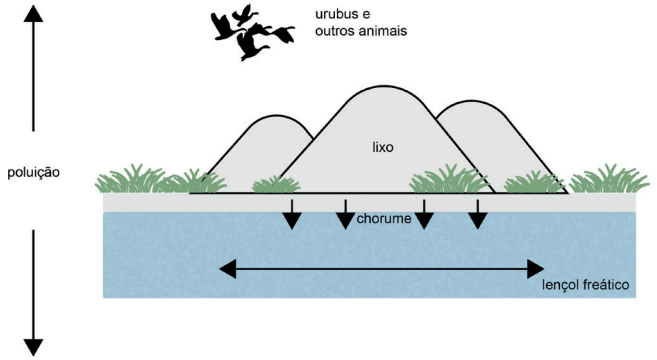


Ilustração de Leticia Evelyn

Aterro sanitário

No Brasil, a maioria dos aterros sanitários é de propriedade e operada pelo município, mas nada impede a existência de aterros sanitários particulares ou consorciados entre municípios. Eles visam à disposição final dos resíduos sólidos/rejeitos domésticos.

A composição básica dos resíduos domésticos urbanos no país é a seguinte: 57,5% de matéria orgânica, 2,2% de metal, 11,1% de papel, 16,8% de plástico, 1,8% de vidro e 10,6% de outros materiais. O aterro sanitário é construído para operar com segurança para esses tipos de resíduos, motivo pelo qual não se pode misturar resíduos da construção, industriais e de saúde com os domésticos.

Um aterro sanitário é uma obra de engenharia projetada sob critérios técnicos que visam garantir que a disposição dos resíduos sólidos urbanos não cause danos à natureza e às pessoas. Seu tamanho varia de acordo com o volume de resíduos que irá receber e sua estrutura prevê um tratamento especial para o chorume e os gases emitidos na decomposição dos resíduos orgânicos.

O manejo é feito por camadas de resíduos compactadas e recobertas por material inerte, como terra. A altura das camadas define a vida útil do aterro que, por sua vez, é calculada considerando o tipo de solo (estabilidade das camadas) e o posterior processo de desativação do aterro. De modo geral, esses cálculos devem indicar pelo menos 15 anos de vida útil para que haja uma boa relação custo-benefício do empreendimento.

Em síntese, sua operação ocorre com a abertura de uma vala (célula), que não deve ultrapassar dois metros de distância do lençol freático, onde se coloca uma manta de polietileno para proteger os lençóis freáticos e uma camada de pedras pequenas, por onde passarão os líquidos e gases liberados pelos resíduos que serão drenados. A instalação de calhas de concreto e tubos

verticais visam drenar os gases, que podem ser recolhidos para aproveitamento energético e/ou liberados na atmosfera. Uma rede de drenagem do chorume também é implantada no fundo de cada célula, encaminhando-o para bacias de tratamento específicas.

O chorume é um líquido escuro, viscoso e malcheiroso que libera gás metano (CH4), um dos principais causadores do efeito estufa, sendo mais prejudicial para o aquecimento global do que o dióxido de carbono (CO_2).

Figura 5 – Aterro sanitário

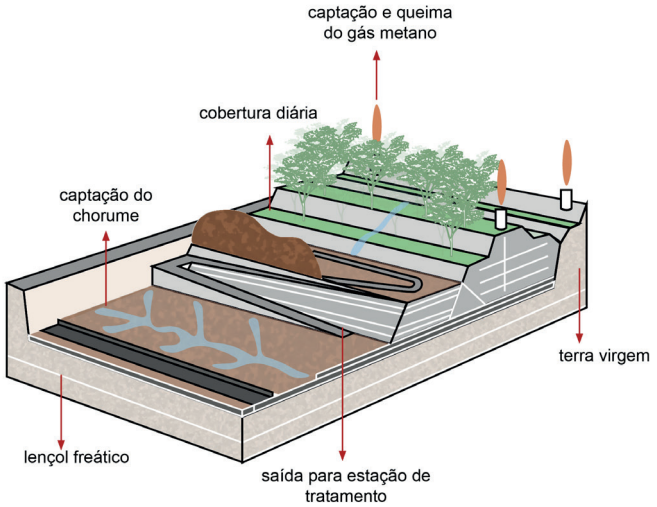


Ilustração: Leticia Evelyn.

Alguns critérios devem ser observados na escolha de uma área para aterro sanitário, entre eles:

- **Zoneamento urbano** – fora do vetor de crescimento principal ou intermediário.
- **Densidade populacional** – baixa a média.
- **Distância de núcleos populacionais** – 2km a 5km.
- À jusante do local de captação de abastecimento de água.
- **Distância de estradas de acesso** – mínimo de 300 m.
- **Condições de vias de acesso** – acessível em quaisquer condições climáticas.
- **Valor da terra** – baixo custo.
- **Distância de aeródromos/aeroportos** – raio de 20km para aeroportos que operam de acordo com as regras de voo por instrumento (IFR) e raio de 13 km para os demais aeródromos (Resolução Conama nº 04, de 9/10/1995).
- **Distância de cursos d'água superficiais e coleções hídricas** – 200m a 500m.
- **Zoneamento ambiental** – fora de áreas ambientais com qualquer tipo de proteção.
- **Profundidade** do lençol freático – 5m a 8m; medida na época de maior precipitação pluviométrica.
- **Distância do centro gerador de resíduos** – 5km a 20km.
- **Declividade** 1-30% > 30%.
- **Característica do solo** – composição predominantemente argilosa, sendo o mais impermeável e homogêneo possível.
- **Coeficiente de permeabilidade do solo** < 5 x 10-5 cm/s.
- **Disponibilidade de solo para cobertura** – acesso fácil e barato a solo de cobertura.

Por fim, é fundamental que a implantação do aterro já preveja a recuperação da área após o seu fechamento, ou seja, o uso que poderá ser dado ao terreno (instalação de parque, cemitério ou outros equipamentos públicos, por exemplo).

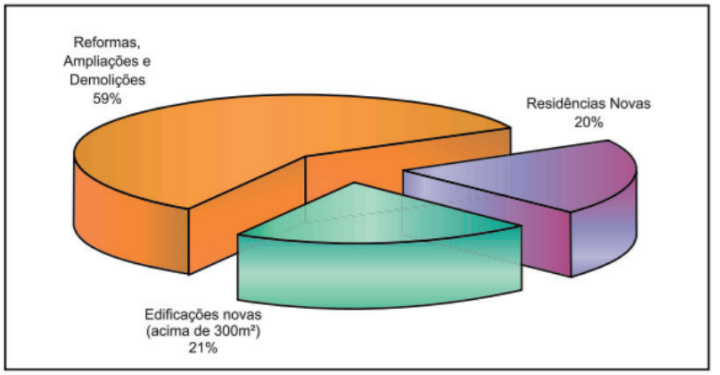
Mais uma vez, cabe destacar a necessidade de que todos esses equipamentos (centros de triagem, locais para tratamento dos resíduos e os aterros de diferentes tipos) sejam previstos no zoneamento de uso e ocupação do solo do Plano Diretor. Como visto, são equipamentos que possuem critérios locacionais próprios e devem manter, ao mesmo tempo, uma distância segura de áreas residenciais, mas também uma certa proximidade para não inviabilizar sua operação. Além desses critérios urbanísticos, existem os de natureza ambiental, como tipos de solo e proximidade de recursos hídricos[1].

8.3 Resíduos da construção civil (RCC)

A construção civil é uma atividade econômica relevante para a geração de empregos e renda. Entretanto, possui o desafio de atualização tecnológica para a redução de resíduos. De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (Abrelpe, 2022), o país produziu, em 2021, cerca de 48 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição, o que equivale a 227 quilos de entulho por habitante e cerca de 30% de todos os resíduos produzidos no país.

1 Para saber mais sobre o assunto, recomendamos a leitura do *Livro de Resíduos Sólidos e Atividades Educativas*. Coleção Consumo Sustentável e Ação. Instituto 5 Elementos. Disponível em: https://5elementos.org.br/wp-content/uploads/2021/10/Livro-dos-Residuos-Solidos-2015_270115.pdf>.

Figura 6 – Origem dos RCC nos diferentes tipos de obras



Fonte: CONSTANTE, R. ANDRADE, J (2016).

As perdas advindas da indústria da construção civil ocorrem em diferentes fases da obra e por distintos motivos, como:

- Superprodução de material de vida curta (produção de argamassa em quantidade superior à necessária para o dia de trabalho, por exemplo).

- Manuseio equivocado do material pelos operários dentro da obra, seja por resserviço ou transporte.

- Produtos defeituosos que resultam em falhas na construção (e o consequente resserviço).

- Armazenamento em condições climáticas desfavoráveis, levando à perda do material.

- Ausência de um *layout* no canteiro de obras que reduza a distância entre o local onde os produtos ficam armazenados e a área de execução (diminuindo perdas de material e de tempo).

Para evitar esses vícios, deve-se investir na educação ambiental tanto de engenheiros que atuam na gerência de obras quanto de trabalhadores da construção civil. Entretanto, mesmo com uma boa gestão, resíduos são gerados, demandando capacitação em gerenciamento de resíduos da construção civil. Apesar de serem, em sua maioria, de baixa periculosidade, esses materiais geram impactos de ordem estética, ambiental e de saúde pública. Seu impacto advém do grande volume e de uma parte constituída por produtos químicos, gesso e amianto. A disposição em espaços públicos compromete a paisagem e gera entupimento da drenagem urbana. Na natureza, podem contaminar o solo e a água subterrânea, bem como contribuir para o assoreamento de corpos d'água.

Box 3 – O que são resíduos da construção civil

Trata-se de materiais inertes provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, bem como os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico etc. Comumente são chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

8.4.1 Base legal para o gerenciamento de resíduos da construção civil

A questão dos resíduos da construção civil vem há algum tempo sendo objeto de políticas públicas específicas, como é o caso da Resolução Conama nº 307/2002, alterada pela Resolução Conama nº 348/2004 que dispõe sobre o amianto, enquadrado na classe de resíduos perigosos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010, definiu as responsabilidades dos geradores e do setor público, a exemplo do que ocorre com os demais resíduos sólidos. Já o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, aprovado em 2022, estabeleceu várias definições de gerenciamento, inclusive com metas de redução e reciclagem.

Outras resoluções do Conama se seguiram às de 2002 e de 2004. É o caso da Resolução Conama nº 431/2011, que determina nova classificação para o gesso, e da Resolução Conama nº 469/2015, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

Além das normas legais, existem normas técnicas da ABNT que orientam sobre as diversas fases do gerenciamento, classificações e procedimentos para o uso de reciclados na construção civil e projetos de aterros de inertes. Entre elas, destacam-se:

- **NBR 15.112/2004** – diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de triagem e transbordo.
- **NBR 15.113/2004** – diretrizes para projeto, implantação e operação de aterros.
- **NBR 15.114/2004** – diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem.
- **NBR 15.115/2004** – procedimentos para a execução de camadas de pavimentação utilizando agregados reciclados de resíduos da construção.
- **NBR 15.116/2004** – requisitos para a utilização em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural com agregados reciclados de resíduos da construção.
- **NBR 10.004/2004** – classificação de resíduos sólidos.
- **NBR 10.005/2004** – procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.
- **NBR 10.006/2004** – procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.
- **NBR 10.007/2004** – amostragem de resíduos sólidos.

De acordo com a legislação, além do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, os municípios devem elaborar o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção (PGRCC), que pode fazer parte do primeiro ou ser individualizado. O PGRCC estabelece diretrizes e procedimentos, além de definir as responsabilidades dos geradores de RCC. Entre elas, destaca-se o Projeto de Gerenciamento de RCC, onde grandes geradores descrevem desde a necessidade de reduzir a produção de resíduos até a disposição final.

Os geradores de resíduos são pessoas ou empresas responsáveis por atividades ou empreendimentos que geram resíduos. De acordo com sua classe e volume, são enquadrados no plano municipal de gerenciamento de RCC como grandes ou pequenos geradores, cabendo-lhes responsabilidades diferenciadas na gestão.

Classificação e disposição final dos resíduos da construção civil

De acordo com a Resolução nº 307/02 e suas alterações (2004, 2011 e 2014), os RCCs são divididos em quatro classes:

- **Classe A** – resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem, de edificações, componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto e do processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio fio etc.) produzidas no canteiro de obras.

- **Classe B** – resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, isopor e gesso.

- **Classe C** – resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação, tais como: lixas, massa corrida, massa de vidro etc.

- **Classe D** – resíduos que apresentam perigos advindos do processo de construção, como tintas, solventes, óleos e outros que podem estar contaminados ou prejudicar a saúde. Esses resíduos têm como origem reformas, reparos de clínicas radiológicas e instalações industriais, bem como demolições. Além disso, incluem materiais como telhas e objetos que contêm amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Além da classificação feita pelo Conama, a NBR 10.004 estabelece outra que decorre da atividade que deu origem ao resíduo e seu grau de periculosidade:

- **Resíduos Classe I** – perigosos (tintas, solventes, óleos, reformas e reparos de clínicas radiológicas, telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros componentes nocivos à saúde).

- **Resíduos Classe II** – não perigosos

- **Resíduos Classe II A** – não inertes (restos de comida, lixo de banheiros, varrição, entre outros).

- **Resíduos Classe II B** – inertes (areia, cerâmica, tijolo, telha cerâmica, argamassa, concreto, cimento, pedra, terra/solo, entre outros).

Os RCCs não podem ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, áreas de encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas de proteção ambiental. A indicação de tratamento e disposição final é dada pela Resolução Conama nº 307/22, de acordo com sua classificação:

- **Resíduos Casse A** – deverão ser encaminhados para áreas de aterro de construção civil, sendo dispostos de maneira que permita a sua reutilização e/ou reciclagem futura.

- **Resíduos de Classe B** – deverão ser encaminhados a áreas de armazenamento temporário, também dispostos para serem reutilizados.

- **Resíduos de Classe C** – deverão ser transportados e armazenados conforme sua destinação, de acordo com o que foi definido no plano de gestão.

- **Resíduos de Classe D** – deverão ser transportados e armazenados conforme estabelece a Resolução Conama nº 348/2004, segundo a categoria de materiais que não podem ser reutilizados.

Os geradores de resíduos da construção civil devem contratar empresas especializadas para a coleta, transporte, destinação e disposição final dos resíduos. O funcionamento dessas empresas é condicionado à autorização pela prefeitura e à posse das devidas licenças ambientais, conforme exigido pelo órgão licenciador.

8.4.2 Gerenciamento de RCC

Como dito, os municípios são obrigados a contar com um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), onde são definidas as responsabilidades do poder público, bem como dos geradores e operadores de RCC. O Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta da Lei Federal nº 12.305/2010, determina, no artigo 51 § 1º incisos I a XIV, o conteúdo de um plano simplificado para ser aplicado por municípios com

população total inferior a vinte mil habitantes.

Esses planos municipais simplificados devem conter:

I – diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, com a indicação da origem, do volume e da massa, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;

II – identificação das áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o § 1o do art. 182 da Constituição e o zoneamento ambiental, quando houver;

III – identificação da possibilidade de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando a economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;

IV – identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos ao plano de gerenciamento ou ao sistema de logística reversa, conforme os arts. 20 e 33 da Lei nº 12.305, de 2010, observadas as disposições deste Decreto e as normas editadas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS;

V – procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotadas nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, em consonância com o disposto na Lei nº 11.445, de 2007, e no Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010;

VI – regras para transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20 da Lei nº 12.305, de 2010, observadas as normas editadas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS, bem como as demais disposições previstas na legislação federal e estadual; Plano Municipal Simplificado de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos;

VII – definição das responsabilidades quanto à sua

implementação e operacionalização pelo Poder Público, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos;

VIII – programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização, a coleta seletiva e a reciclagem de resíduos sólidos;

IX – programas e ações voltadas à participação de cooperativas e associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, quando houver;

X – sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços, observado o disposto na Lei nº 11.445, de 2007;

XI – metas de coleta seletiva e reciclagem dos resíduos;

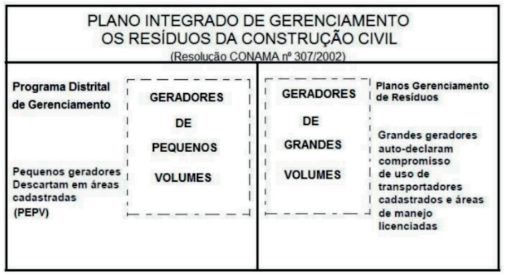
XII – descrição das formas e dos limites da participação do Poder Público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitado o disposto no art. 33 da Lei nº 12.305, de 2010, e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XIII – identificação de áreas de disposição inadequada de resíduos e áreas contaminadas e respectivas medidas saneadoras; e

XIV – periodicidade de sua revisão.

Cabe ao município, no Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, definir o que considera como grande e pequeno gerador e quais procedimentos serão imputados a cada um. De modo geral, cerca de 70% dos resíduos de construção civil ocorrem de forma difusa e se concentram na escala do pequeno gerador. Somente os 30% restantes são provenientes da denominada indústria da construção civil de grande porte.

Figura 7 – Responsabilidades de pequenos e grandes geradores de RCC



Fonte: PLANO INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E RESÍDUOS VOLUMOSOS NO DISTRITO FEDERAL – PIGRCC,2013 Disponível em: https://so.df.gov.br/documents/d/so/pigrcc_aprovado_dez_2013

A título de exemplo, seguem as definições que constam nos planos municipais de duas capitais e do Distrito Federal:

- Em São Paulo, são considerados grandes geradores de resíduos da construção civil os estabelecimentos que geram mais de 200 litros de resíduos por dia.

- Em Campo Grande, a Lei Municipal nº 4.864/10 define como grandes geradores aqueles que produzem mais de um metro cúbico de RCC por dia.

- No Distrito Federal, são considerados grandes geradores de resíduos da construção civil aqueles que produzem mais de 1m³ de resíduos por dia.

No que se refere ao pequeno gerador, o município compartilha responsabilidades na gestão e na disciplina das empresas transportadoras que prestam serviço a esse setor. Cabe aos pequenos geradores a separação, o acondicionamento e a posterior contratação de empresas transportadoras licenciadas para levar os resíduos aos pontos definidos pela prefeitura, que podem ser ecopontos, centros de triagem ou aterros de RCC,

conforme previsto no Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção. Na maioria das vezes, o poder público é responsável pelo aterro de inertes classes A, mas este também pode ser operado por uma empresa particular devidamente licenciada, se assim estiver previsto no PGRCC do município.

Já os grandes geradores têm a obrigação legal de elaborarem seus projetos de gerenciamento de RCC contemplando responsabilidades ao longo de todo o ciclo de gestão.

Box 4 – O que são ecopontos

Locais de entrega voluntária de resíduos sólidos onde se realiza o recebimento para posterior envio para a reciclagem ou para empresas de logística reversa. São gerenciados pelo município e visam estimular a responsabilidade dos cidadãos com a destinação correta dos resíduos. Existem ecopontos destinados a vários tipos de resíduos, como: entulho; restos de poda; móveis; papelão; plásticos; vidros e metais.

Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil devem seguir as diretrizes do Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil e da Resolução Conama n° 307/2002 e suas alterações. Sobre o escopo desses projetos, vale destacar algumas etapas:

- Caracterização e quantificação dos resíduos sólidos.
- Classificação dos tipos de resíduos sólidos produzidos pelo empreendimento, adotando a classificação das Resoluções Conama nº 307/2002 e nº 348/2004, inclusive os resíduos de característica doméstica.
- Estimativa da geração média de resíduos sólidos de acordo com o cronograma de execução de obra (em kg ou m^3).
- Descrição dos procedimentos para minimizar a geração de resíduos sólidos, por classe.
- Descrição dos procedimentos para a segregação dos resíduos sólidos por classe e tipo. Caso a obra não possua espaço para a segregação dos resíduos, esta poderá ocorrer em Áreas de Triagem e Transbordo (ATT), devidamente licenciadas, com identificação da área e do responsável técnico.
- Descrição dos procedimentos para o acondicionamento dos resíduos sólidos, por classe/tipo, e identificação, na planta do canteiro de obras, dos locais destinados à armazenagem de cada tipo de resíduo.
- Descrição dos procedimentos relacionados aos transportes interno, vertical e horizontal dos RCCs.
- O transporte externo não poderá ser realizado sem o Controle de Transporte de Resíduos (CTR).
- Descrição dos procedimentos para reutilização e reciclagem dos RCCs e destinação dos resíduos fazendo a distinção por classes.
- Descrição das ações de sensibilização, mobilização e educação socioambiental para os trabalhadores da construção com objetivo de reutilização, segregação na origem, acondicionamento, armazenamento e transporte dentro das normas.
- Apresentação do cronograma de implantação do projeto para todo o período da obra.

Reciclagem de RCC

No Plano Nacional de Resíduos Sólidos consta a meta de aumento da reciclagem de resíduos da construção civil. Atualmente, apenas 7% dos resíduos são reciclados. O plano projeta para 2040 a meta de 25%, com percentuais diferenciados entre as regiões, como indica o quadro a seguir.

Quadro 1 – Evolução da meta de reciclagem por região/ano

Região/Ano	2020	2024	2028	2032	2036	2040
Norte	0,27%	0,41%	0,55%	0,69%	0,83%	0,96%
Nordeste	1,40%	2,11%	2,82%	3,52%	4,23%	4,94%
Centro-Oeste	0,77%	1,16%	1,55%	1,94%	2,33%	2,72%
Sudeste	3,68%	5,56%	7,43%	9,30%	11,17%	13,05%
Sul	0,94%	1,42%	1,90%	2,37%	2,85%	3,33%
Brasil	7,06%	10,65%	14,24%	17,82%	21,41%	25%

Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos/MMA,2022 https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/plano-nacional-de-residuos-solidos

No Brasil, os RCCs reciclados têm sido utilizados em obras de pavimentação, como agregados para concreto ou como agregado para argamassa. São usos muito limitados, onde quase nada é utilizado nas áreas de revestimentos e produtos mais nobres da construção, o que aponta a necessidade de uma evolução tecnológica nessa área. Seguindo a tendência de arquitetura sustentável, o uso da reciclagem é uma excelente opção para a destinação de sobras de material de construção, agregando criatividade e inovação ao processo.

Gráfico 1 – Materiais produzidos pelas unidades de reciclagem de RCC no Brasil (2015)



Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos/MMA,2022 Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/plano-nacional-de-residuos-solidos

Como é uma unidade de reciclagem de RCC? Como dito, são espaços onde são depositados os resíduos classe A que, na sequência, são encaminhados para a linha de separação, onde são retirados os materiais não minerais. Posteriormente, um britador processa o resíduo na granulometria desejada e, ao final, o dispõe em um local de armazenamento.

Trata-se de um processo muito simples, mas que traz muitos benefícios, pois: (i) reduz o volume de extração de matérias-primas; (ii) retira a deposição indiscriminada de resíduos de construção na malha urbana; (iii) coloca no mercado materiais de construção a custo mais baixo e; (iv) cria postos de trabalho para mão de obra com baixa qualificação.

A NBR 15.144/2004 define requisitos para projeto de implantação de usina de RCC para materiais de classe A que tenham sido triados. Já a NBR 15.116/2021 define a padronização para garantia de qualidade e prevê o tipo de uso do material reciclado.

Box 5 – Conceitos-chaves

Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentam características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

Área de Transbordo e Triagem (ATT): local destinado ao recebimento de resíduos da construção civil e resíduos volumosos para triagem, armazenamento temporário de materiais segregados, eventual transformação e posterior remoção para destinação adequada, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente.

Entre os aspectos a serem observados para a localização de uma usina de reciclagem de RCC destacam-

se características do terreno (relevo, qualidade do solo e inserção na estrutura urbana, como facilidade de acesso), a proximidade dos insumos e, por fim, o tamanho da área para viabilizar a classificação dos materiais. A implantação de uma usina de RCC está diretamente ligada ao volume de processamento de resíduos que se pretende operar e ao tipo de agregado a ser gerado, o que implica o tipo de maquinário a ser utilizado para que se obtenha o melhor beneficiamento dos materiais.

As usinas de RCC podem ser fixas ou móveis, sendo que ambas apresentam vantagens e desvantagens. O agregado produzido pelas usinas fixas tem maior uniformidade granulométrica, resultando em melhor qualidade. Já as usinas móveis possuem a vantagem de ter menor custo.

Box 6 – Tipos e usos correntes de material reciclado na construção civil

Alvenaria, concreto, argamassas e cerâmicos: Esses resíduos, mesmo brutos, podem ser reutilizados para reaterros, desde que ofereçam condições de compactação e estabilidade do terreno. É possível reutilizar as aparas de blocos para preencher vãos na execução de vedações em alvenaria. Com simples britagem para homogeneização, esses resíduos podem ser utilizados em enchimentos, estabilização de terrenos, sub-base e base de pavimentos, contrapisos, drenagens, produção de argamassas, concretos não estruturais, entre outros usos. As possibilidades podem se ampliar a depender do processamento dos resíduos em usinas móveis no canteiro ou em unidades fixas de reciclagem externas.

Madeira: Um dos materiais mais utilizados em obras, o mais recomendável é que ela seja conservada para ser reutilizada em outras obras. Esgotadas as possibilidades de reuso, seu destino deve ser uma unidade de trituração, onde poderá ser transformada em cavacos para utilização como combustível em fornos e caldeiras em substituição à madeira virgem. Há, também, a possibilidade de readensamento dos resíduos triturados, ganhando a forma de briquetes para melhoria do potencial energético da biomassa para queima em fornos e caldeiras.

Papel e papelão: Caixas, sacarias, papel e papelão devem ser enviados para cooperativas ou empresas que comercializam aparas para a formação dos lotes para venda aos recicladores, que produzem embalagens e artefatos incorporando papel reciclado ao processo de produção.

Plástico: Os materiais plásticos derivam de embalagens, lonas, telas, pedaços de tubulações e conduítes, entre outros. Devem ser destinados a cooperativas ou empresas que comercializam resíduos de plástico para a formação de lotes para reciclagem, em um processo que envolve moagem, lavagem, secagem, aglutinação, extrusão, resfriamento, granulação ou peletização e, finalmente, o uso como insumo na produção de artefatos em plástico.

Metal: Embalagens vazias, arames, pedaços de tubulações e vergalhões de metal, entre outros itens, são encaminhados a cooperativas ou a empresas que comercializam sucatas metálicas, com destinação final na indústria siderúrgica. Deve-se ter cuidado para não misturar com embalagens de tintas e congêneres, que são considerados resíduos perigosos.

Gesso: As sobras e aparas de gesso acartonado devem ser enviadas para empresas que lidam com a destinação final dos resíduos em indústrias de cimento. O material será utilizado para controle da pega do cimento na fase de moagem do clínquer. Esses materiais devem ser ensacados e acondicionados em caçambas exclusivas para evitar mistura com resíduos de alvenaria e concreto.

Resíduos perigosos: Tintas, solventes, óleos, graxas, instrumentos de aplicação impregnados, estopas, uniformes, EPIs contaminados, entre outros, são classificados como resíduos perigosos. Devem ser destinados a empresas aptas a receberem resíduos perigosos para uso em fornos de cimento (coprocessamento). Nesse caso, são vários os cuidados no canteiro, a começar pelo preparo de abrigo sinalizado e ventilado para acondicionamento temporário.

Amianto: A destinação deve ser feita em aterros aptos a receber resíduos classe I – perigosos. O primeiro cuidado com o amianto é evitar a fragmentação. Materiais contendo amianto devem ser paletizados, cintados e envelopados, preferencialmente com plástico espesso. O ideal é rotular telhas e acondicioná-las em big-bags.

Aterro de RCC

A NBR 15.113/2004 trata de diretrizes para projeto, implantação e operação de Aterros de Resíduos Sólidos da Construção Civil. Aqui se destacam aspectos referentes à localização das áreas, que devem orientar a elaboração de um zoneamento de uso e ocupação do solo que preveja as devidas áreas para esses equipamentos.

Algumas características importantes são a distância dos núcleos populacionais, as condições de acesso, a iluminação, a comunicação e demais infraestruturas urbanas, de modo a garantir uma boa operação.

Além dos aspectos urbanísticos, deve-se avaliar a adequabilidade do sítio por meio de estudos, como: (i) caracterização geológica e geotécnica (que visa avaliar os riscos de poluição das águas superficiais e subterrâneas); (ii) caracterização topográfica e coleções hídricas existentes na área e na circunvizinhança; e (iii) caracterização da vegetação existente na área do aterro.

Em síntese, a implantação de um aterro de RCC deve observar requisitos, como:

- Acessos internos e externos protegidos, executados e mantidos de maneira a permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas.

- Cercamento da área de operação, construído de forma a impedir o acesso de pessoas estranhas e animais.

- Dispor de iluminação e energia que permitam uma ação de emergência, a qualquer tempo, e o uso imediato dos diversos equipamentos (bombas, compressores etc.).

Vale reforçar que, na operação, a triagem deve observar que os aterros de RCC recebem exclusivamente resíduos de classe A, inertes. Os resíduos de construção civil das classes B, C e D devem ser encaminhados para a destinação adequada. No caso de armazenamento temporário de resíduos classe D, deve ser indicada área específica coberta.

Gráfico 2 – Tipo de destinação adotada para os resíduos da construção civil



Fonte: Fonte: ilustração de Leticia Evelyn adaptado de Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), 2019.

No que se refere à disposição final propriamente dita, os resíduos devem ser dispostos em camadas sobrepostas, não sendo permitido o despejo pela linha de topo. A lógica do aterro de inertes é receber e enterrar os resíduos, à semelhança do que ocorre em um aterro sanitário, com a diferença de que no aterro sanitário as leis e normas são mais rigorosas no que se refere ao chorume e aos gases dissipados, que não existem no caso de RCC.

Por fim, é importante ressaltar que o aterro de resíduos da construção civil deve ser uma solução apenas para os casos em que não haja possibilidades técnicas e/ou econômicas de reciclagem.

Referências – Capítulo 8

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022.* Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7960898/mod_resource/content/1/Panorama%20da%20ABRELPE.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

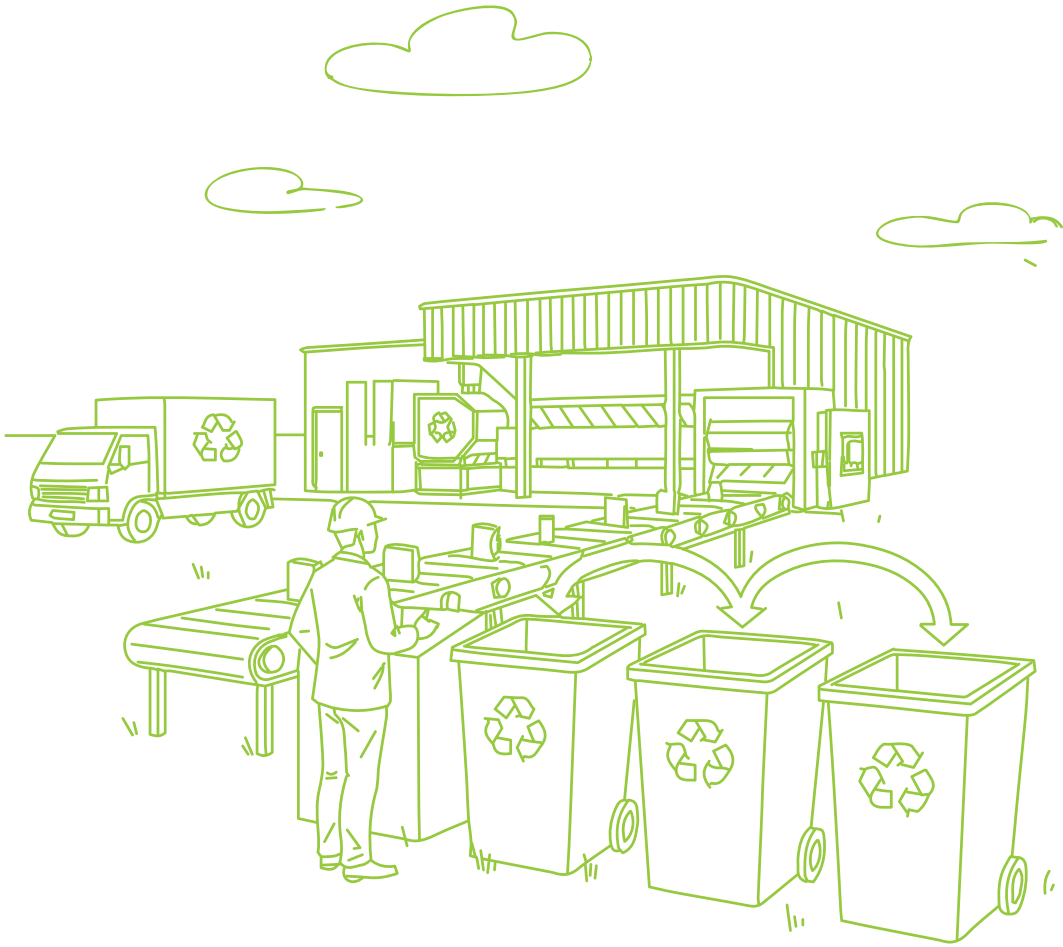
CONSTANTE R. ANDRADE , J Avaliação das práticas de gerenciamento de resíduos nas construtoras de Porto Alegre (RS, Brasil) através da análise de estudos de caso, Revista Espacios Vol. 37 (Nº 12) Ano 2016 ,Porto alegre

INSTITUTO 5 ELEMENTOS. *Resíduos sólidos e atividades educativas.* Coleção Consumo Sustentável e Ação, 2025. Disponível em: https://5elementos.org.br/wp-content/uploads/2021/10/Livro-dos-Residuos-Solidos-2015_270115.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Plano Nacional de Resíduos Sólidos.* Brasília, 2022. Disponível em: https://www.sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/. Acesso em: 22 abr. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR.* Brasília, 2019. Disponível em: https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/. Acesso em: 22 abr. 2024.

SLU/DF – Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal. *Treinamento para o sistema de RCC – resíduos da construção civil.* Brasília, 2022. Disponível em: https://www.slu.df.gov.br/treinamento-para-novo-sistema-de-rcc/. Acesso em: 22 abr. 2024.



Índice Remissivo

A

Abastecimento: 12, 14, 21, 25, 31-40, 43-45, 47 54, 60, 68, 70, 72, 73, 91, 95, 106, 130, 131, 134, 189, 191, 192, 288, 323, 324, 327, 328, 329-332, 335, 337, 339-345, 348, 393.
Alagamento: 259,272,277
Áreas de risco: 91,312-318
Aterro resíduo da construção: 391-410
Aterro sanitário: 55,91,384-411

B

Bacia hidrográfica: 100,105,106,130,258-261, 271-334

C

Ciclo hidrológico: 96-99, 100, 145,257,269-271, 286, 313
Cidades compactas e dispersas: 182-201, 208-211
Classificação resíduos e responsabilidade: 377,372-381, 384-408
Componentes do sistema de abastecimento e saneamento: 37,60,335,349,350,356-359
Condicionantes ambientas da urbanização: 83 ,84,104,109,112,135,137,156,166,180,215

D

Déficit de saneamento: 32, 35, 68
Destino final de resíduos: 53-61, 351, 355, 371, 376-410
Dimensionamento do sistema viário: 134, 140, 183, 203, 205, 215-219, 235, 247, 269, 277
Doenças e ausência de saneamento: 43, 49, 61-70, 80, 139, 152, 272, 288, 317, 323
Drenagem tradicional: 50,52,273,274,285,287, 288,298,303
Drenagem sustentável: 253, 271, 287, 289, 293, 294, 298, 299, 311, 315.

E

Elementos do sistema viário: 208, 225, 224
Elementos drenagem: 266,287,298,314
Enquadramento dos recursos hídricos: 327-334
Esgoto condominial: 364-367
Estatuto da cidade: 164,169,173-177,185,193,199.
Escoamento superficial: 51,69,81,87,99,102,257-259,263-269, 274-312,328,348
Estação de tratamento de água: 335,339,344.
Estação de tratamento de esgotos: 47-50,62,66,70,71,140,359
Evolução tecnológica de infraestrutura: 166

F

G

Gestão de resíduos sólidos: 55,61,371,372,373
Gestão urbana: 134,164,172,175,185-188, 217,228,264,345.

H

Hierarquia do sistema viário: 205,217,240.

I

Impermeabilização do solo: 99,259,263,273,286,287
Integração cidade natureza: 80,109,114, 123-126,138,140,145,151,154
Instrumentos urbanísticos e infraestrutura: 164,166,173-179, 204,205,327,345
Inundação: 316,317.

J

L

Lei das águas: 327,329.
Lei de parcelamento do solo urbano: 104,171,178-180,187-190,194
Legislação resíduos da construção: 398-400
Limpeza urbana: 341

M

Manejo de água pluviais: 36,146,333.
Meio físico e sistema viário: 83,109
Metabolismo urbano: 129,131, 139
Mobilidade urbana: 29,200,210,215,225

N

O

Ocupação do solo: 30,32,48,50,79,84,89,104,109,113,125,138,146,166,181,187,202,205,221,315,326,334.

P

Perímetro urbano: 180
Plano Diretor Urbano: 169-180,185,184,196,208,312-316
Plano de drenagem: 54,312,315,317
Plano de mobilidade: 200
Planejamento ambiental urbano: 16,74,82, 91,109,113,125,137,142, 155,171,172,176,200,205,334,383
Política nacional de mobilidade: 200
Política nacional e resíduos sólidos: 386
Política nacional de saneamento: 47
Pesquisa nacional de saneamento: 38,48

Q

R

Reciclagem resíduos sólidos: 372, 385, 386, 397, 400, 405, 411
Resíduos da construção: 398-399

S

Saneamento ambiental: 20,21,25,37
Saneamento e saúde: 61,65,76,83,144,323
Sistema de estomento sanitário: 37,45,54,135,137,350,355
Sistema de abastecimento água: 43,45,73,191,192,329,335-345
Sistema viário: 217,223-239, 246-248
Soluções baseadas na natureza: 147,152,291,297
Sustentabilidade ambiental urbana: 125-130, 151,176

T

Técnicas compensatórias de drenagem: 287,288

U

Urbanização e alterações do meio físico: 83,85,99,145

V

X

Z

Zoneamento urbano: 60,110,112,177,180,183,203,312,315,333



Maria do Carmo de Lima Bezerra

Arquiteta e urbanista, Mestre em Planejamento Urbano, FAUUnB, Doutora, FAUUSP com pós doutorado na AAP, Cornell University, EUA, 2009 e ESTAM, Politecnico de Madri, 2019. Desde 1994 é professora de Infraestrutua Urbana da Faculdade de Arquitetura da Unvesidade de Brasília onde é Professora Titular. Atualmente é pesquisador Produtividade do CNPQ PQ, Coordenadora do PPGFAU UnB e do LabPaisagem na FAUUnB. Líder do Grupo de Pesquisa em Gestão Ambiental Urbana CNPQ/UNB.

Assumiu varias coordenações de pesquisa e foi editora de área da Revista Paranoá do PPGFAU. Exerceu diversas funções públicas, no âmbito federal como Coordenadora da Agenda 21 brasileira e do zoneamento Econômico ecológico- ZEE e no governo local -GDF foi Secretária de Estado de Meio Ambiente. Prestou consultoria para Agência de fomento como BID e Banco Mundial em temáticas de política urbana e de meio ambiente.

Foi conselheira do CONAMA e do CONPLAN- Conselho de Planejamento Urbano do Distrito Federal GDF. Possui alguns livros publicados sendo os últimos entre 2020 e 2025: O que avançou na regularização fundiária; Paisagem Urbana - Natureza e Pessoas e Locação Social: serviço do estado para provisão de moradia digna, todos pela Editoria da UnB.

A Ministra do Meio Ambiente Marina Silva
assim se pronunciou sobre o livro em seu prefácio:

"As mudanças climáticas exigem não apenas a atualização de nossos conhecimentos, mas também a produção de conhecimentos novos em uma realidade que não existia antes. .... Para as enormes tarefas da adaptação das cidades teremos que renovar todo o nosso entendimento sobre o que se costumava chamar de "relação entre a cultura e a natureza". Teremos que repensar a urbanização, o planejamento urbano e a elaboração de novas leis e regulamentos. E não basta recuperar a infraestrutura ou desenvolver novos equipamentos sem enfrentar a injustiça ambiental e o sistema de segregação e exclusão que gerou a crise. Afinal, a crise não é estritamente ambiental, mas também social, econômica, cultural, de toda a civilização.

...Por isso, são tão necessários livros como este, em que a arquiteta e professora Maria do Carmo de Lima Bezerra reúne a experiência de duas décadas como educadora para propor uma atualização ampla nas ideias centrais da formação em Urbanismo. .... Com esses fundamentos, pode-se produzir não apenas uma nova literatura didática e uma nova formação profissional. Produz-se também uma nova cidadania e um ideário que resgata experiências históricas. ... É com esse povo resiliente e incansável que os profissionais do urbanismo e do planejamento urbano, com uma formação para a sustentabilidade, devem dialogar, para aprender e ensinar."

Universidade de Brasília

Labpaisagem

faunb

PPG FAU UnB

ISBN: 978-65-84854-67-3
CDL
9 786584 854673