


# Relações entre o Subsolo Urbano e Mudanças Climáticas em Diferentes Bairros do Rio de Janeiro

Emmanuela Lopes de Oliveira<sup>I</sup>  
Mara Telles Salles<sup>II</sup>

 <sup>I</sup> Doutoranda em Engenharia Civil UFF, Niterói, RJ, Brasil.

<sup>II</sup> Docente do Departamento de Engenharia de Produção UFF, Niterói, RJ, Brasil.

**Resumo:** A maioria das cidades cresceu de forma desordenada, sem planejamento e preocupação com o meio ambiente. Também assim, foram surgindo e sendo implantadas as redes de infraestrutura urbana. Além disso, diversos impactos no meio ambiente podem provocar mudanças climáticas, como o aumento da taxa de impermeabilização do solo que favorece o aumento da temperatura e, assim, a formação de ilhas de calor. Portanto, objetivou-se analisar o impacto da ocupação desordenada do subsolo urbano pelas redes subterrâneas de infraestrutura no aumento das áreas impermeáveis e suas relações com as mudanças climáticas. A metodologia aplicada baseou-se em pesquisa bibliográfica e levantamento de campo. Assim, verificou-se que, quanto maior a ocupação desordenada do subsolo urbano, menor as áreas destinadas às áreas verdes e permeáveis, e, maior a vulnerabilidade às mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Subsolo urbano; Impermeabilização; Mudanças climáticas.

São Paulo. Vol. 23, 2020

*Tema em destaque: Urbanização, Planejamento e Mudanças Climáticas*

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190178r2vu2020L6TD>

## Introdução

As ruas e calçadas das cidades concentram em seu subsolo um conjunto de serviços de redes de infraestrutura urbana que conectam e são responsáveis pelo funcionamento das cidades (TABA et al., 2015). Esse espaço subterrâneo é compartilhado por redes públicas ou privadas que são responsáveis por fornecer serviços de distribuição de água, esgoto, gás, eletricidade, telecomunicações, drenagem de pluvial, entre outros (GASTALDELLO, 2012). Com o passar dos anos, com a expansão das áreas urbanas, o crescimento desordenado e a falta de planejamento urbano contribuíram para o aumento dos problemas ambientais nas cidades. Sem planejamento, as cidades se desenvolveram e surgiu a necessidade de serviços urbanos, que ao longo do tempo dificultaram a gestão desses espaços (MICHEL et al., 2013).

Os subterrâneos das cidades foram ocupados inicialmente por canalizações, redes de água e esgotos, e pequenos túneis. Ao longo do tempo, o espaço subterrâneo das cidades sofreu com o mesmo processo de ocupação desordenada, fazendo com que a ocorrência de acidentes, danos às infraestruturas existentes e impactos ambientais se tornassem frequentes (CAMPOS et al., 2006). Com isso, a dificuldade na gestão das redes subterrâneas após sua implantação pode ser em decorrência do aumento da população, que fez com que essas redes gradativamente ficassem subdimensionadas com o avanço de tecnologias, com as privatizações que tornaram algumas dessas redes obsoletas, ou ainda, com a falta de integração entre elas, onde os dutos de redes diferentes se cruzam ou ocupam o mesmo espaço (MICHEL et al., 2013).

Além disso, o método tradicional de escavação e implantação das redes subterrâneas de infraestrutura urbana com o lançamento desordenado dessas redes no subsolo gera diversos impactos no meio ambiente urbano ao reduzir áreas permeáveis, impermeabilizando praticamente todo o passeio, que pode ser facilmente percebido ao se observar as inúmeras quantidades e variedades de tampas encontradas nos passeios ou vias públicas (OLIVEIRA et al., 2012).

Os diversos impactos no meio ambiente urbano podem provocar mudanças climáticas, dentre eles, as emissões de dióxido de carbono aparecem como os mais severos e com poucas soluções eficientes (HULME et al., 2002). Entre esses impactos, a forma desordenada e sem planejamento como a maioria dos grandes centros urbanos cresceu e seus padrões de urbanização contribuíram para o surgimento de espaços sem preocupação com o meio ambiente e que prejudicam a isonomia, eficiência e continuidade das cidades (GUEDES et al., 2017; UNTHANK, 2016).

Além disso, as cidades brasileiras são vulneráveis às mudanças climáticas e os efeitos sofridos dependem das características específicas de cada região (PBMC, 2014). A suscetibilidade a esses impactos ambientais cria desafios ao planejamento das cidades em buscar mecanismos para reduzir e mitigar as emissões de dióxido de carbono e assim, prevenir as alterações que ocorrem no meio ambiente.

Diversos estudos apontam que os espaços verdes nas áreas urbanas contribuíram significativamente para o equilíbrio e manutenção do seu microclima ao longo dos anos (HEALEY, 1995). Outro aspecto importante é que em relação à disponibilidade de espaços

verdes, as cidades estão mais suscetíveis às mudanças climáticas do que as áreas rurais (WILBY; PERRY, 2006). Assim, começaram a surgir inúmeras políticas de regeneração desses espaços em áreas urbanas em todo o mundo pautadas no conceito de sustentabilidade urbana.

O termo “sustentabilidade urbana” tem sua origem atrelada ao surgimento do termo desenvolvimento sustentável (DALBELO; RUTKOWSKI, 2015). Segundo Maclaren (1996), o conceito de sustentabilidade urbana envolve diversas características ligadas aos aspectos de meio ambiente, social e econômico, e embora existam divergências no grau de importância dada a essas características, as necessidades ambientais devem equilibrar economia e sociedade para que se consiga sua efetividade. Segundo Dalbelo e Rutkowski (2015), para promover a implantação da sustentabilidade urbana é necessário utilizar instrumentos como o planejamento urbano e as políticas públicas.

Como instrumentos básicos de planejamento para políticas de desenvolvimento e expansão urbana no Brasil, existem o Estatuto da Cidade e o Plano Diretor, que configuram instrumentos para reduzir impactos negativos resultantes da urbanização desequilibrada provocada no meio ambiente (ANDRADE, 2014). Para as políticas públicas de regeneração de áreas urbanas existem projetos que incluem a criação de espaços verdes para melhorar o microclima e reduzir o curso de águas superficiais minimizando os efeitos oriundos das alterações climáticas. Embora os espaços verdes contribuam para reduzir as temperaturas nos centros urbanos, não se sabe o quanto desses espaços é necessário para reduzir as emissões de dióxido de carbono (BENEDICT; MCMAHON, 2002).

Portanto, objetivou-se analisar os impactos da ocupação desordenada das redes subterrâneas de infraestrutura urbana no meio ambiente urbano da cidade do rio de Janeiro sob a ótica das mudanças climáticas, nos trechos dos bairros da Tijuca, Copacabana e Centro, e a partir disso, apontaram-se ações nas políticas de regeneração de áreas urbanas, a fim de proporcionar melhorias no meio ambiente urbano construído. Desta forma, analisou-se a relação entre a ocupação desordenada do subsolo urbano e as áreas impermeáveis a fim de identificar possíveis pontos de intervenção, capazes de modificar e melhorar o meio ambiente urbano.

### **Permeabilidade do solo nos centros urbanos e seu impacto no meio ambiente**

A permeabilidade do solo urbano no campo do urbanismo é um princípio a ser perseguido pelos planejadores urbanos, uma vez que, áreas urbanas mal planejadas ocasionam um maior consumo do espaço, maiores taxas de área impermeabilizada acarretando menor infiltração das águas no solo e maior o escoamento superficial das águas pluviais. Essas alterações modificam o ciclo hidrológico da água contribuindo para o aumento da precipitação, e permitem que as cidades fiquem mais vulneráveis às enchentes, alagamentos e deslizamentos de terra (BEZERRA, 2015, p. 30; UNIÃO EUROPÉIA, 2012).

Nos últimos anos uma variedade de estudos vem mostrando que as grandes cidades produzem impactos que ocasionam efeitos no clima urbano em escala local e regional, assim como sua influência na atmosfera global. Modificações decorrentes do

processo de urbanização das cidades, como a substituição da vegetação por diversos tipos de materiais que impermeabilizam a superfície do solo, contribuem para alterações nos padrões térmicos e de qualidade do ar, fazendo com que o meio urbano se transforme em polos de concentração de calor, conhecido como ilhas de calor (MEIRELES et al., 2014; MONTEIRO, 1976).

As ilhas de calor são fenômenos que se caracterizam por temperaturas mais elevadas nas áreas urbanas do que nas áreas rurais (ZHAO et al., 2014). Esses fenômenos ocorrem nas cidades em decorrência dos impactos causados pelo contínuo processo de urbanização (LANDSBERG, 1981) e junto às mudanças climáticas, representam um desafio ao planejamento das cidades (RIZWAN et al., 2008). A dimensão desse fenômeno varia como um resultado das características meteorológicas, locais e urbanas (OKE, 1987). Como resultado desses processos, ocorrem alterações no balanço da radiação atmosférica e no balanço energético urbano, levando a um microclima urbano caracterizado por um aquecimento da temperatura do ar (OKE, 1988).

A permeabilidade dos solos urbanos tem a participação de diversos fatores como textura, estrutura, profundidade e teor de matéria orgânica que influenciam na sua capacidade de armazenamento de água. A capacidade de armazenamento de água em um solo que funcione perfeitamente é de cerca de 100 a 300 litros de água para um metro cúbico de solo poroso (UNIÃO EUROPÉIA, 2012). Deste modo, a capacidade de infiltração superficial da água no solo é claramente alterada de acordo com a redução de cobertura vegetal e aumento de áreas impermeabilizadas variando de 25% (superficial e profunda) em solos com 100% de cobertura vegetal a 10% (superficial) e 5% (profunda) em solos com 75% a 100% impermeabilizados, reduzindo, além disso, o índice de evapotranspiração e aumentando o escoamento superficial, ocasionando de maneira direta, o aumento das temperaturas em regiões urbanizadas e a possibilidade de ocorrências de enchentes. À vista disso, a impermeabilização do solo reduz sua capacidade de absorção da água afetando os microclimas urbanos (BEZERRA, 2015, p. 30).

No entanto, embora estudos comprovem as influências do aumento de áreas impermeáveis nas mudanças climáticas, ainda há entraves em políticas de regeneração dos centros urbanos. Limitar a impermeabilização é a medida ideal e tem prioridade sobre as medidas de atenuação ou de compensação, uma vez que tendo o processo sido iniciado, torna-se praticamente irreversível. Sendo assim, como proceder para diminuir as grandes áreas impermeáveis nos centros urbanos? Ainda, como minimizar os impactos das mudanças climáticas nos grandes centros urbanos em solos com baixa taxa de permeabilidade? Nesse contexto, investigações oriundas de estudos indicam que a redução da vegetação contribui para o aumento das ilhas de calor em áreas urbanizadas (YAO et al., 2017). Assim, diante desses desafios, é necessário refletir na busca por soluções, projetos e políticas públicas para cidades consolidadas que incluam ações e mecanismos para reduzir impactos e compensar o meio ambiente.

### **Relações entre desenvolvimento urbano e ocupação desordenada das redes subterrâneas no subsolo urbano**

O subsolo urbano é reflexo do mesmo processo de ocupação desordenada visto nas cidades (CAMPOS et al., 2006). Segundo Lombardo (1985), o uso e ocupação do solo urbano de forma desordenada, sem planejamento, sem levar em consideração seu relevo, ou as características climáticas do lugar, podem provocar alterações do clima local, desconforto ambiental acústico, visual ou de circulação.

Ainda que o crescimento da população e, em decorrência deste, a expansão urbana, sejam processos naturais sobre os quais não se tem total controle, é fundamental o planejamento para com vistas à redução dos impactos no meio ambiente e garantia da qualidade de vida da população (TUCCI, 2008). Segundo Pinto (2007), o ordenamento e planejamento urbano devem levar em consideração fatores ambientais, econômicos e sociais, pois somente com uma ocupação ordenada do território é possível preservar o meio ambiente.

Para isso, o Estatuto da Cidade e o Plano Diretor são ferramentas da política urbana que favorecem o planejamento urbano, no entanto, suas diretrizes não são específicas ou abordam com especificidade o uso do subsolo urbano do ponto de vista de implantação de redes subterrâneas de infraestrutura urbana (CAMPOS et al., 2006).

### **Relações entre a ocupação do subsolo urbano e microclimas urbanos**

Diversos aspectos interdisciplinares contribuem para as interferências no clima urbano, sendo as interações entre solo, superfície (vegetação e ambiente construído) e atmosfera, uma delas (DUARTE; MONTEIRO, 2016). Segundo Marengo et al. (2009) a impermeabilização dos solos reduz a infiltração, aumenta o escoamento superficial e pode provocar enchentes, ilhas de calor, entre outros fenômenos. Segundo Schueler (2000), área impermeável é a soma das vias, estacionamentos, calçadas, telhados e outras superfícies impermeáveis do cenário urbano. A construção civil por si só, participa do processo de impermeabilização do solo, causando vários impactos ambientais, como o aumento do escoamento superficial e rebaixamento do lençol freático (FERREIRA et al., 2005). Segundo Mendonça et al. (2011), a sociedade moderna está ciente que está alterando significativamente a composição e a temperatura do ar devido ao desequilíbrio do ambiente causado pela crescente urbanização. Essas modificações feitas nas superfícies podem interferir nas variações da temperatura do ar, pois existem superfícies que possuem propriedades capazes de refletir e absorver energia solar em quantidades diferentes (ZEMAN, 2012, p. 82-85).

Segundo Torres e Machado (2011), a reflexão dos raios solares ao tocar a superfície é responsável por aquecer o ar contido na atmosfera. Logo, a progressiva impermeabilização do solo nos centros urbanos contribui para as mudanças climáticas, tendo como consequência o aumento da temperatura dos centros urbanos e a formação das ilhas de calor (ZEMAN, 2012, p. 80-82).

Para a definição da intensidade de ocupação do solo são utilizados parâmetros ur-

banísticos associados as Zonas, que geralmente são associados à predominância de usos. O tecido urbano das diversas áreas da cidade se diferencia por parâmetros associados ao parcelamento, situação geográfica, econômica, entre outros fatores. Dentre esses fatores, quanto à densidade (populacional e construtiva), às Zonas são divididas em: baixa, média, alta e especial. Segundo a Lei de Uso e Ocupação do solo da cidade do Rio de Janeiro, o trecho analisado da Tijuca está inserido na Zona Residencial Multifamiliar 3 (ZRM3) que possui trechos de bairros residenciais com diversidade de comércio e serviços, considerados de média e alta densidade, o trecho de Copacabana na Zona Comercial e de Serviços (ZCS) que possui trechos de bairros localizados junto aos principais corredores de transportes, em áreas onde pode predominar o uso comercial e de serviços, considerados de média e alta densidade, enquanto o trecho do Centro está na Zona Central de Comércio e Serviços (ZCC) que compreende a área central da cidade, onde se localiza o centro financeiro com diversidade de comércios e serviços, considerada de alta densidade (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2017).

As leis de uso e ocupação do solo nos municípios brasileiros são responsáveis também por contemplar as taxas de permeabilidade. Segundo o Projeto de Lei Complementar nº 33/2013 (Lei de uso e ocupação do solo – LUOS), a Taxa de Permeabilidade é a porcentagem de área do terreno que deve ser mantida permeável, e área permeável é aquela livre de construção em qualquer nível, para garantia de infiltração de águas pluviais no solo e subsolo e para impedir qualquer forma de alteração do meio ambiente natural. Para garantia da permanência das áreas permeáveis deve se manter uma taxa de permeabilidade mínima que é estabelecida por legislação de uso e ocupação do solo local ou por legislação específica, em função das características da área onde se situam, de modo a compatibilizar a implantação dos grupamentos e de suas edificações com a proteção e a valorização do meio ambiente e da paisagem da cidade (RIO DE JANEIRO, 2013). O aumento dos índices da cobertura vegetal da cidade, contribuindo com o aumento da permeabilidade do solo urbano e do conforto ambiental (Art. 161, inciso VI), faz parte das diretrizes da Política de Meio Ambiente, presentes no Plano Diretor da cidade do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2011).

Segundo Mizuno et al. (1990), o revestimento horizontal das superfícies é um grande responsável pelo ganho térmico em regiões de baixa latitude, sendo o tipo de revestimento escolhido, um elemento capaz de proporcionar efeitos microclimáticos benéficos. Estudos demonstraram que o centro da ilha de calor numa cidade está frequentemente localizado sobre a área de maior densidade de construção. Diversos estudos comprovaram que é comum que em áreas com maiores densidades de construção, os níveis de temperatura ser maiores (SANTOS et al., 2003).

O aumento da densidade de áreas construídas mal planejadas gera um maior “consumo do espaço”, ocasionando uma maior taxa de impermeabilização que, sob a ótica da morfologia urbana, provoca: aumento da temperatura que favorece o surgimento de ilhas de calor, e aumento do escoamento superficial das águas pluviais que desencadeia o agravamento dos processos de enchentes e alagamentos (BEZERRA, 2015). A falta de ordenamento do espaço subterrâneo faz com que as redes de infraestrutura ocupem todo o

subsolo, resultando em um solo urbano com pouca ou nenhuma permeabilidade. Segundo Patchett e Price (2013), utilizar infraestruturas urbanas que aumentem a permeabilidade do solo urbano deve ser uma diretriz do desenho urbano para o urbanismo sustentável.

Como visto, diversas modificações ocorridas ao longo dos anos influenciaram no desenho urbano e no uso e ocupação do seu espaço subterrâneo, culminando para que não haja articulação ou sejam desconsiderados conceitos ambientais, urbanísticos e hidrológicos (ANDRADE, 2014). Diante desse contexto, objetivou-se analisar a influência da ocupação desordenada do subsolo urbano pelas redes subterrâneas de infraestrutura no aumento da quantidade de áreas impermeáveis e sua contribuição nas alterações de temperatura no meio ambiente urbano que contribuem para as mudanças climáticas.

## Metodologia

### *Contextualização*

O presente trabalho constituiu-se por pesquisa bibliográfica e levantamento de campo, com abordagem qualitativa e descritiva, uma vez que para reflexão e análise da realidade, busca encontrar padrões e reproduzir explicações para as altas taxas de impermeabilização nos trechos estudados sob a influência da ocupação desordenada do subsolo urbano pelas redes subterrâneas de infraestrutura urbana. A pesquisa também descreve e estabelece relações e comparações, que envolve técnica de coleta de dados e assume a forma de levantamento. Ainda, levando-se em consideração que se trata de análise comparativa, recorreu-se a trechos urbanos com características de urbanização semelhantes (GODOY, 1995; GIBBS, 2009).

Para isso, considerou-se a implantação das redes subterrâneas de infraestrutura urbana em três trechos de bairros da cidade do Rio de Janeiro (1-Tijuca, 2-Copacabana e 3-Centro). A partir daí, as áreas ocupadas por essas redes foram limitadas visando identificar as áreas impermeabilizadas de cada trecho. Assim, comparou-se os dados do levantamento de campo dos três trechos, e as relações entre a ocupação do subsolo urbano pelas redes infraestrutura subterrâneas e a redução de áreas permeáveis e áreas verdes. Por fim, analisou-se as relações da redução das áreas permeáveis e áreas verdes desses trechos com as mudanças climáticas.

### *Área de estudo*

No período de agosto de 2018 a junho de 2019, selecionaram-se três trechos que abrangem um raio de 50 (cinquenta) metros cada um, os quais correspondem aos cruzamentos de vias principais de três bairros (1-Tijuca, 2-Copacabana e 3-Centro) da cidade do Rio de Janeiro. Os trechos desses bairros foram selecionados baseado em características bem similares quanto a perfis de urbanização e desenho urbano, e por essa razão tem as seguintes justificativas: possuem urbanização composta de redes novas e antigas, apresentam infraestrutura instalada, inclusive rede de metrô nas proximidades, trechos com

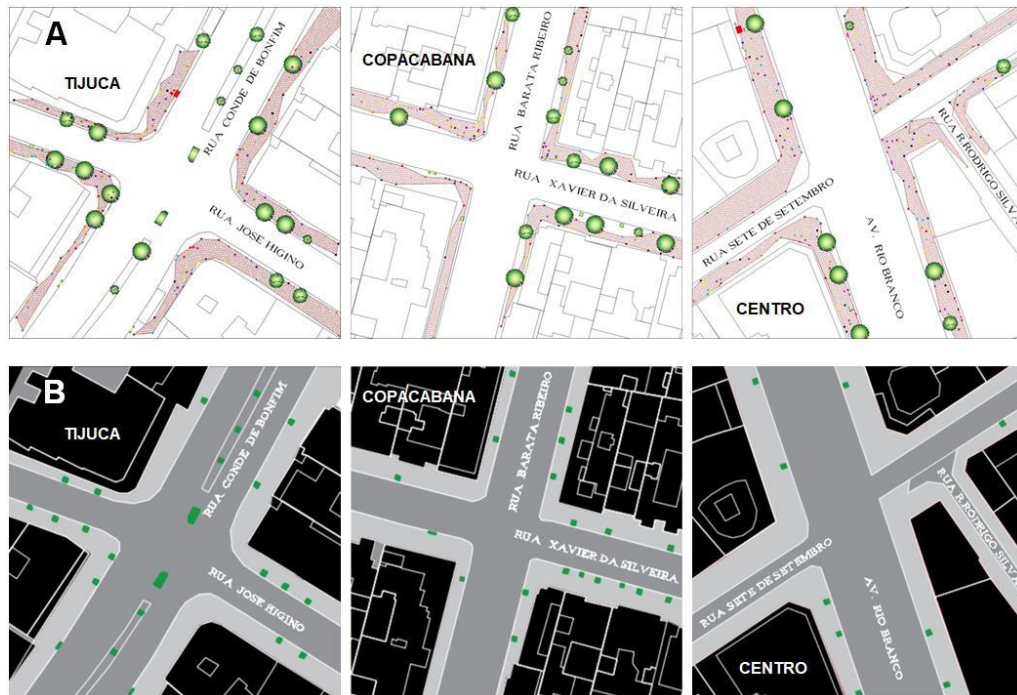
edificações residenciais e comerciais ou essencialmente comerciais, e por estarem inseridos em um trecho da cidade em que toda sua infraestrutura já está consolidada. Mapearam-se todas as tampas dos poços de visita dos trechos estudados, e que correspondem aos cruzamentos de vias principais. Levantaram-se também as árvores, canteiros e vegetação existentes nesses trechos selecionados. As tampas de poços de visita (bueiros) das redes subterrâneas de infraestrutura urbana e as vegetações foram demarcadas em uma planta cadastral da Prefeitura do Rio de Janeiro, em escala (1:50), através de ferramentas métricas (trena e/ou metro) e com auxílio de ponto de referências existentes no local, como por exemplo, lojas e equipamentos urbanos. Após levantamento de campo, todos os dados foram lançados na planta cadastral da Prefeitura do Rio de Janeiro, em escala (1:50), utilizando o software AutoCad (Autodesk, versão 2016).

Demarcaram-se então duas áreas distintas: áreas ocupadas por redes subterrâneas de infraestrutura urbana (ARSIU) e áreas ocupadas por vegetações (AV). Para a delimitação das áreas que correspondem às ARSIU, foram marcadas as áreas limítrofes ocupadas pelos poços de visita (bueiros). As áreas ocupadas pelas AV são as áreas que possuem árvores ou pequenos canteiros com dimensões que variam de 1,00m<sup>2</sup> a 1,44m<sup>2</sup> (Figura 1-A).

As ARSIU compreendem as redes de esgoto, águas pluviais, abastecimento de água, eletricidade, gás e telecomunicações. Detectaram-se também redes complementares, como por exemplo, as redes de iluminação pública, de vigilância e de incêndio, além de algumas tampas de poços de visita (bueiro) que não foram possíveis de serem identificadas. As áreas ocupadas por vegetações compreendem canteiros com ou sem vegetação e árvores de diferentes portes (pequeno, médio e grande). Demarcaram-se também, a partir do levantamento de campo, outras duas áreas distintas: áreas impermeáveis e áreas permeáveis. Para a delimitação dessas áreas utilizou-se, além do levantamento de campo, o Google Maps para verificação e visualização em imagens por satélite (Figura 1-B).



**Figura 1: A - Caracterização das áreas ocupadas por redes subterrâneas de infraestrutura urbana (ARSIU) (hachura em vermelho) e áreas ocupadas por vegetação (AV) (verde) no tecido urbano dos trechos dos bairros da Tijuca, Copacabana e Centro. B - Caracterização das áreas impermeáveis (cinza e preto) x áreas permeáveis (verde) nos trechos dos bairros da Tijuca, Copacabana e Centro**



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

A partir desse mapeamento quantificaram-se as áreas de cada trecho estudado e o percentual dessas áreas que são ocupadas pelas ARSIU, AV e demais áreas em relação à área do passeio. Então, utilizou-se a ferramenta AutoCad para o cálculo das áreas ocupadas referentes às ARSIU, AV e demais áreas ocupadas em relação à área ocupada pelo passeio, e para quantificar as áreas permeáveis e impermeáveis nos três trechos estudados. Para obtenção dos resultados utilizou-se de uma representação visual e métodos simplificados.

Por fim, para analisar a influência das altas taxas de ocupação do subsolo urbano na formação das ilhas de calor buscaram-se dados em relação ao aumento da temperatura nos trechos estudados ao longo dos anos. Utilizou-se então dados de temperatura disponibilizados pelo Data Rio (IPP, 2020) entre os anos de 2011 a 2019 e do INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET, 2020) entre os anos de 1980 a 2017.

## Resultados e Discussões

### *Análise da área: Permeabilidade do solo urbano*

Nas três áreas estudadas observou-se que as áreas ocupadas pelas ARSIU correspondem a mais da metade da área destinada ao passeio. Já as áreas ocupadas pelas AV correspondem apenas de 1% a 3% da área do passeio (Tabela 1). As demais áreas não possuem poços de visita, no entanto, não significa que seu subsolo não seja ocupado por redes de infraestrutura urbana. Verificou-se também elevadas taxas de ocupação do subsolo urbano pelas redes de infraestrutura urbana. Em determinados trechos há interferência das AV com as ARSIU, pois uma vez que o espaço subterrâneo é densamente ocupado pelas redes subterrâneas, é inevitável que em alguns trechos estas áreas dividam o mesmo espaço (Figura 1-A e Tabela 1).

**Tabela 1: Levantamento das áreas ocupadas por redes subterrâneas de infraestrutura urbana (ARSIU) e áreas ocupadas por vegetações (AV) em relação ao passeio das áreas analisadas dos bairros da Tijuca, Copacabana e Centro**

TIPOS DE OCUPAÇÃO	TIJUCA		COPACABANA		CENTRO	
	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%
ARSIU	841	56	800	66	1366	73
AV	44	3	27	2	13	1
DEMAIS ÁREAS	610	41	389	32	478	26
PASSEIO (TOTAL)	1495	100	1216	100	1857	100

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Embora as áreas destinadas ao passeio nos trechos estudados equivalham a cerca de 1495m<sup>2</sup> (Tijuca), 1216m<sup>2</sup> (Copacabana) e 1857m<sup>2</sup> (Centro), apenas a 3% (Tijuca), 2% (Copacabana) e 1% (Centro), destas áreas são ocupadas por AV (Tabela 1). Logo, pode-se afirmar que uma área maior não implica em áreas com maior destinação às áreas verdes, porém a quantidade de áreas destinadas às AV está relacionada à quantidade de áreas ocupadas pelas ARSIU. Quanto maior a ocupação desordenada do subsolo urbano, menores serão as áreas destinadas às áreas verdes, e assim, menores as áreas permeáveis. Diante disso, as pressões exercidas por fatores climáticos e não-climáticos, tais como a

falta de acesso a serviços públicos de saneamento, inexistência de planos de uso e ocupação do solo, ausência de políticas públicas de moradia e crescimento de população em situação de vulnerabilidade social, podem amplificar os efeitos das mudanças climáticas. Além disso, as superfícies impermeáveis podem intensificar inundações e são consideradas condições determinantes do efeito ilha de calor (ROSENZWEIG et al., 2011b). Desta forma, a inexistência de planos de uso e ocupação do solo, que culmina com a ocupação desordenada do subsolo urbano amplifica a pressão das mudanças climáticas sobre as cidades (PBMC, 2014).

Observou-se ainda que, nas três áreas analisadas, as áreas permeáveis são escassas, uma vez que as áreas impermeáveis nos passeios dos trechos estudados estão entre 97% a 99% (Figura 1-B). As áreas com predominância de uso comercial possuem maiores áreas ocupadas pelas ARSIU, e conseqüentemente, menores áreas ocupadas pelas AV, conforme dados do bairro Centro (73% de ARSIU e 1% de AV) (Tabela 1). Diante disso, pode-se afirmar que em cidades consolidadas em que o subsolo é densamente ocupado por redes subterrâneas de infraestrutura e que cresceram sem planejamento, quanto maior a taxa de ARSIU, menor a taxa de AV.

Observa-se também que, nos três trechos estudados com a mesma quantidade de área total (6806m<sup>2</sup>), que equivale à soma das áreas impermeáveis (cinza e preto) com as áreas permeáveis (verde) nos três trechos estudados (Figura 1-B), as taxas de ocupação das áreas impermeáveis sofreram pouca variação em que a Tijuca possui 99,3%, Copacabana 99,6% e Centro 99,8%. O trecho estudado do bairro Centro apresenta a maior taxa de áreas impermeáveis (99,8%), e assim a menor taxa de áreas permeáveis (0,2%) (Tabela 2).

**Tabela 2: Levantamento das áreas impermeáveis x áreas permeáveis nos trechos dos bairros da Tijuca, Copacabana e Centro**

TIPOS DE ÁREAS	TIJUCA		COPACABANA		CENTRO	
	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%
ÁREAS IMPERMEÁVEIS	6762	99,3	6779	99,6	6793	99,8
ÁREAS PERMEÁVEIS	44	0,7	27	0,4	13	0,2
TOTAL	6806	100	6806	100	6806	100

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Portanto, em cidades consolidadas e que possuam características similares aos dos trechos estudados, quanto maiores forem as ARSIU, menores serão as AV, e quanto maiores as taxas de ocupação por áreas impermeáveis, conseqüentemente, menor a ocupação por áreas permeáveis. Sendo assim, conclui-se que a ocupação desordenada do subsolo urbano contribui para a redução da permeabilidade do solo nas áreas urbanas.

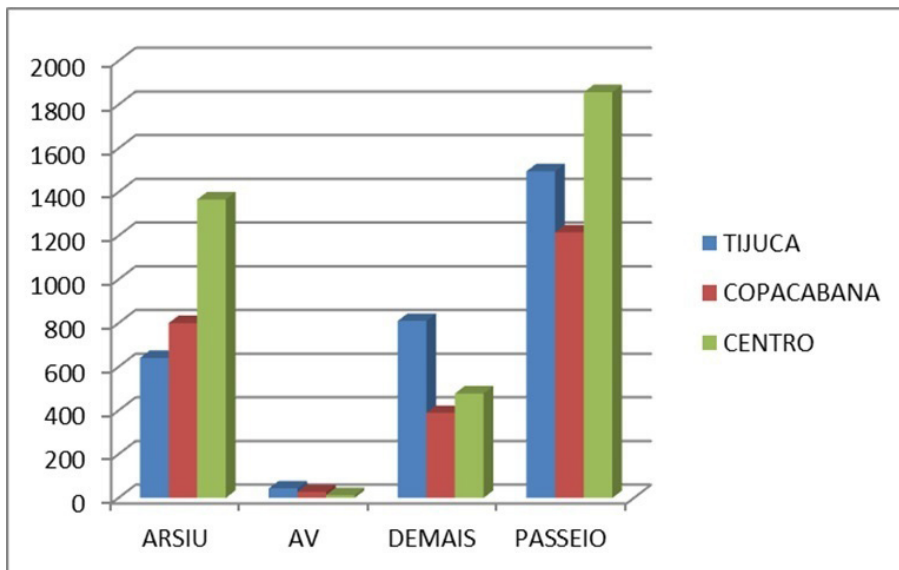
Constatou-se que o espaço subterrâneo nos trechos estudados é densamente ocupado, e essa ocupação influencia diretamente na implantação, quantidade e tipo de

vegetação local. Nesses trechos, quanto maior a ocupação do espaço subterrâneo, menor a quantidade de vegetação e áreas verdes permeáveis (canteiros).

### **Análise das relações entre a ocupação desordenada do espaço subterrâneo e as mudanças climáticas nas cidades**

Observou-se que trechos dos bairros da Tijuca e Copacabana, que possuem residências e comércios, com característica predominantemente residencial, as áreas AV são similares, cerca de 3% e 2%, respectivamente. O trecho do bairro Centro, com característica predominantemente comercial, apresentou AV menor (1%) que a dos trechos analisados da Tijuca e Copacabana. As diferenças entre esses trechos são mais acentuadas para árvores de grande porte, árvores de baixo porte e canteiros. Os bairros da Tijuca e Copacabana apresentam um perfil de desenvolvimento e desenho urbano similar, por isso as diferenças mínimas nas taxas de ocupação das ARSIU e AV (Tabelas 1 e 2). Nos trechos analisados dos bairros da Tijuca e Copacabana as taxas de ARSIU são semelhantes. Já o trecho do Centro apresenta maiores taxas de ARSIU em relação aos trechos da Tijuca e Copacabana (Figura 2). Essas afirmações confirmam a necessidade de utilizar infraestruturas urbanas que aumentam a permeabilidade do solo (PATCHETT; PRICE, 2013). Para isso, aumentar a diversidade de uso e ocupação do solo em áreas centrais deve ser uma diretriz para o urbanismo sustentável (RICHARDS, 2013).

**Figura 2: Levantamento das áreas (m<sup>2</sup>) ocupadas por redes subterrâneas de infraestrutura urbana (ARSIU) e áreas (m<sup>2</sup>) ocupadas por vegetações (AV) em relação às áreas (m<sup>2</sup>) analisadas dos bairros da Tijuca, Copacabana e Centro**



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

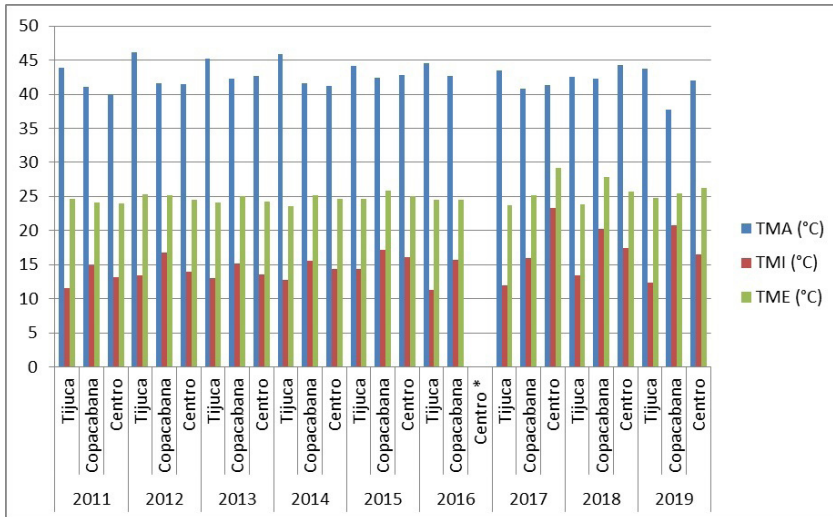
Pode-se observar ainda que, em áreas de centros comerciais, o subsolo urbano possui uma densidade de ocupação com redes de infraestrutura bem maior, logo, maiores são as taxas de áreas impermeabilizadas. A ocupação do subsolo pelas redes subterrâneas de infraestrutura urbana é inversamente proporcional às áreas permeáveis. Quanto maior as ARSIU, menor as AV (Tabela 1 e Figura 2). Desta forma, é de vital importância instituir, promover e fortalecer ações de regeneração de áreas verdes nos centros urbanos seja pela recuperação ou criação de áreas verdes permeáveis, arborização urbana, entre outros (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2016). Nas áreas em que o espaço subterrâneo é densamente ocupado, as taxas de impermeabilidade são maiores, o que pode favorecer o aumento das ilhas de calor (Tabela 2).

Para verificar os efeitos causados pelas altas taxas de impermeabilização decorrentes da ocupação desordenada do subsolo urbano nas mudanças climáticas, levantaram-se dados meteorológicos dos bairros estudados. No entanto, os institutos de pesquisas meteorológicas da cidade do Rio de Janeiro não possuem dados referentes aos anos 1970 a 2000 nos trechos estudados. Nesse contexto, Lucena (2012) verificou o aumento de temperatura de superfície entre as décadas de 1980 a 2000 nas áreas urbanas corroborando para um indicativo mais forte da ilha de calor, principalmente na década de 2000.

As regiões do Centro e Zona Norte, que se caracterizam por áreas urbanas consolidadas, se mostram como as principais detentoras de acúmulo de energia urbana, com o bairro de Copacabana se assemelhando ao Centro e Zona Norte, e contribuindo para o aumento do gradiente térmico.

Para uma análise mais recente do aumento da temperatura ao longo dos anos, foram utilizados dados meteorológicos dos anos 2011 a 2019 do Data Rio (IPP, 2020). Existem períodos em que a temperatura mínima foi elevada, em outros, a temperatura máxima foi baixa, assim como períodos sem registro nenhum, como no ano de 2016. Isso se justifica pelo fato de que em alguns períodos o aparelho de medição da estação ficou desativado para manutenção. Observou-se ainda que, ao longo dos anos estudados, a temperatura máxima apresentou alterações mais sutis quando comparada com a temperatura mínima. A variação entre a temperatura máxima e a temperatura mínima chegou em 32,7 °C no ano de 2012 na Tijuca (Figura 3).

**Figura 3: Temperaturas máxima (TMA), média (TME) e mínima (TMI) dos bairros da Tijuca, Copacabana e Centro entre os anos de 2011 a 2019. \* Período em que o parêntese ficou inoperante**



Fonte: IPP, 2020. Elaborado pelas autoras, 2020.

Comparando-se os dados meteorológicos da cidade do Rio de Janeiro com os obtidos nos bairros em estudo, verificou-se que tanto no município quanto nos bairros há uma tendência de aumento das temperaturas máxima e mínima ao longo dos anos. Na cidade do Rio de Janeiro a temperatura máxima foi de 27,67 °C em 1990 e 32,43°C em 2017, apresentando um acréscimo de 4,76 °C, e a temperatura mínima foi de 21,22 °C em 1990 e 25,09 °C em 2017, apresentando um acréscimo de 3,87 °C em 27 anos (INMET, 2020).

Embora haja variação entre a temperatura atmosférica e a temperatura de superfície, uma vez que a primeira corresponde à temperatura da superfície continental e segunda registra a temperatura do ar, pode-se dizer que a temperatura atmosférica tem ligação com o aumento da urbanização e aumento das áreas impermeáveis, corroborando o estudo de Lucena (2012). Verificou-se então que o aumento da urbanização desordenada pode ter relação com o aumento da temperatura atmosférica que tem como efeito as ilhas de calor, resultando nas mudanças climáticas.

Desta forma, como já verificado, a ocupação desordenada do subsolo pelas redes subterrâneas de infraestrutura urbana contribui para a redução de áreas verdes e aumento das áreas impermeáveis, em que é empregado o uso de materiais como o concreto e o asfalto, comumente utilizados na pavimentação de passeios e ruas. Os efeitos causados pelo uso do concreto e o asfalto, em conjunto às características geométricas e morfológicas das cidades e ao aumento dos níveis de poluição resultam no aumento da temperatura e na formação das ilhas de calor (GARTLAND, 2010; KOWALSKI, 2019; SANTA-MOURIS, 2011).

Assim, de forma a minimizar os impactos causados pela desordem ocupacional do

subsolo urbano que resulta em áreas impermeáveis, bem como sua influência nas mudanças climáticas, se faz necessário primeiramente mapear o subsolo para identificar as ARSIU. Diante desse levantamento será possível identificar áreas passíveis de intervenção, no intuito de transformá-las em áreas permeáveis ocupando-as com vegetação ou em áreas semipermeáveis utilizando materiais que possuem espaços livres em sua estrutura por onde a água pode escoar, como por exemplo, o concreto ou asfalto poroso, pavimento de blocos vazados, blocos intertravados, entre outros (MARCHIONI; SILVA, 2010). O mapeamento do subsolo urbano poderá contribuir para propostas e regulamentação do subsolo urbano, assim como projetos de regeneração de áreas verdes urbanas, que poderão reduzir a vulnerabilidade das cidades às mudanças climáticas (IPCC, 2014). Esse mapeamento também pode contribuir para fornecer informações úteis para gestores e autoridades públicas a cerca do planejamento urbano e desenvolvimento futuro da cidade.

Reforça-se que as redes subterrâneas podem interferir diretamente na permeabilidade do solo urbano, por isso, é necessário projetar grandes áreas verdes para melhoria da biodiversidade (DOUGLAS, 2011).

Desta forma, pode-se verificar que há uma necessidade urgente em se criar alternativas de adaptação para a infraestrutura urbana como, por exemplo, a revisão de regulamentos de uso e ocupação do solo pelas redes de infraestrutura e criação de espaços verdes que podem proporcionar uma melhoria na drenagem e permeabilidade do solo e redução dos efeitos de ilha de calor urbana (PBMC, 2014). Além disso, a discussão conjunta das relações entre a ocupação desordenada do espaço subterrâneo e o seu impacto no meio ambiente, que culmina em alterações microclimáticas, possibilitarão a elaboração de estratégias de adaptação para propostas de regeneração do meio ambiente urbano construído.

## Conclusões

De acordo com a análise da ocupação do subsolo urbano pelas redes de infraestrutura, nos trechos estudados, observou-se, por meio de mapeamento das ARSIU, das AV, e das áreas impermeáveis e áreas permeáveis, que quanto maior a ocupação desordenada do subsolo, maior a impermeabilização do solo e menores os espaços destinados às áreas verdes. Ademais, o crescimento desordenado e a falta de planejamento sem preocupação com o meio ambiente cooperaram para as altas taxas de áreas impermeáveis, que junto a outros fatores podem contribuir para mudanças climáticas nas cidades.

O desafio é propor intervenções no meio urbano construído que os tornem mais sustentáveis, melhorando a qualidade de vida das pessoas, minimizando os efeitos das mudanças climáticas e demais impactos ambientais.

Isto posto, estudos e medidas para a regeneração dos espaços urbanos, para o ordenamento do subsolo urbano, visando reduzir a ocupação do subsolo urbano e aumentar as áreas permeáveis, podem minimizar os impactos causados no meio ambiente urbano, com a possibilidade de reduzir a taxa de aceleração do aumento de temperatura, e assim as mudanças climáticas.

## Referências

- ANDRADE, L. M. S. **Conexões dos padrões espaciais dos ecossistemas urbanos**. 2014. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- BENEDICT, M. A., MCMAHON, E. T. Green infrastructure: smart conservation for the 21st century. **Renewable Resour Journal**, Bethesda, v. 20, n. 3, p. 12–17, 2002.
- BEZERRA, M. L. D. Taxa de (im) permeabilidade urbana intra-lote: um olhar sob a legislação. **Revista Campo do Saber**, Paraíba, v. 1, n. 2, p. 26-43, jul./dez. 2015.
- CAMPOS, G. et al. O “invisível” espaço subterrâneo urbano. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 147-157, abr./jun. 2006.
- DALBELO, T. S.; RUTKOWSKI, E. W. O desenho urbano e a sustentabilidade. In: XVI ENANPUR - Espaço, Planejamento e Insurgências, 2015, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, MG: UFMG, 2015. p. 1-17.
- DOUGLAS, I.; GOODE, D.; HOUCK, Michael; WANG, R. **The Routledge Handbook of Urban Ecology**. New York: Routledge, 2011.
- DUARTE, D. H. S., MONTEIRO, L. M. Architecture, Urban Design, Planning and Urban Climate: Interdisciplinary collaboration experiences in teaching and research. In: PLEA - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2016, Los Angeles. **Anais...** Los Angeles, CA: [s.n.], 2016. p. 852-861.
- FERREIRA, D. F; SAMPAIO, F E; SILVA, R. V. C. **Impactos sócio-ambientais provocados pelas ocupações irregulares em áreas de interesse ambiental – Goiânia/GO**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Gestão Ambiental) - Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2005.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.
- GASTALDELLO, D. S. **Metodologia de localização de defeitos em redes subterrâneas integrando PSCAD/EMTDC e sistemas inteligentes**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.
- GIBBS, G. **Análise de Dados Qualitativos: Coleção Pesquisa Qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 20-29, mai./jun., 1995.
- GUEDES, G. H.; RIBEIRO, K. F. S.; CARMO, T.; JÚNIOR, C. A. O. M. Redes de infraestrutura urbana e suas relações com os componentes técnicos, sociais e ambientais. **Revista Valor**, Volta Redonda, v. 2, n. 2, p. 329-340, ago./dez., 2017.



HEALEY, P. The institutional challenge for sustainable urban regeneration. *Cities*, v. 12, n. 4, p. 221–230, 1995.

HULME, M., JENKINS, G., LU, X., TURNPENNY, J., MITCHELL, T., JONES, R., LOWE, J., MURPHY, J., HASSELL, D., BOORMAN, P., MCDONALD, R., HILL, S. **Climate change scenarios for the United Kingdom**. 2002. Relatório UKCIP02 (Tyndall Centre for Climate Change Research), School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, 2002.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP - Dados históricos**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 05 jan. 2020.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part B: Aspectos Regionais. Relatório de avaliação. Cambridge, 2014.

IPP - INSTITUTO PEREIRA PASSOS. **Data Rio: Dados horários do monitoramento da qualidade do ar – MonitorAr**. Disponível em: <<https://www.data.rio/datasets/dados-hor%C3%A1rios-do-monitoramento-da-qualidade-do-ar-monitorar/data?orderBy=Esta%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 04 jan. 2020.

KOWALSKI, L. F. **Influência do albedo de pavimentos no campo térmico de cânions urbanos: estudo de modelo em escala reduzida**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985.

LUCENA, A. J. **A ilha de calor na região metropolitana do Rio de Janeiro**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

MACLAREN, V. W. Urban Sustainability Reporting. *Journal of the American Planning Association*, Chicago, v. 62, n. 2, p. 184-202, 1996.

MARCHIONI, M. L., SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2010.

MARENCO, J. A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento sustentável (FBDS), 2009.

MEIRELES, V. H. P.; FRANÇA, J. R. A.; PERES, L. F. Estudo do fenômeno da ilha de calor urbana na região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). **Anuário do Instituto de Ciências –**

UFRJ, Rio de Janeiro, v. 37, n. 2, p. 180-194, 2014.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

MICHEL, P. D. L.; BRANDLI, L.; LOPES, I. C. Proposta para Gestão de Infraestrutura integrada em cidades de pequeno porte a partir de um estudo de caso. **Revista CIATEC – UPF**, Passo Fundo, v. 5, n. 2, p. 12-28, 2013.

MIZUNO, M.; NAKAMURA, Y.; MURAKAMI, H.; YAMAMOTO, S. Effects of land use on urban horizontal atmospheric temperature distributions. **Energy and Buildings**, v. 15, n. 1-2, p. 165-176, 1990/91.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. 1976. Tese (Livre Docência em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2ª ed. Londres: Routledge, 1987.

OKE, T. R. The urban energy balance. **Progress in Physical Geography**, Londres, v. 12., n. 4, p. 471-208, 1988.

OLIVEIRA, E. L.; OLIVEIRA, L. T.; SALLES, M. T. AMORIN, S. L. 2012. Sustentabilidade em obras de redes subterrâneas de infraestrutura: Realidade brasileira. In: VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. **Anais...** Niterói, RJ: Latec, 2012. p. 1-15.

PATCHETT, J.; PRICE, T. Sistemas de gestão de água pluvial. In: FARR, Douglas. **Urbanismo Sustentável: desenho urbano com a natureza**. Porto Alegre: Bookman, 2013. p. 174-176.

PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas: Volume 2 - Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

PINTO, V. C. Ocupação Irregular do Solo e Infra-estrutura Urbana: o Caso da Energia Elétrica. In: MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Temas de Direito Urbanístico 5**. São Paulo: Imprensa Oficial, 2007. p. 1-24.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Estratégias de adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ: Secretaria Municipal, de Meio Ambiente, 2016. Disponível em: [http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6631312/4179912/ESTRATEGIA\\_PORT.pdf](http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6631312/4179912/ESTRATEGIA_PORT.pdf). Acesso em: 05 mai. 2019.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Lei de uso e ocupação do solo**. Rio de Janeiro, RJ: Secretaria Municipal de Urbanismo, 2017. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6438610/4221811/74LUOSPLC572017.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

RICHARDS, L. A água e o debate da densidade. In: FARR, Douglas. **Urbanismo Sustentável: desenho urbano com a natureza**. Porto Alegre: Bookman, 2013. p. 100-102.

RIO DE JANEIRO. Prefeitura Municipal. **Lei complementar nº 111 de 1º de fevereiro de 2011** – Dispõe sobre a Política urbana e ambiental no município e institui o Plano Diretor. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/139339/DLFE-229591.pdf/LeiComplementar1112011PlanoDiretor.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

RIO DE JANEIRO. Prefeitura Municipal. **Projeto de Lei Complementar nº 33/2013**. Disponível em: [http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/4224287/4103827/ProjetoDeLeiComplementar33\\_2013LUOS](http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/4224287/4103827/ProjetoDeLeiComplementar33_2013LUOS). Acesso em: 02 jun. 2019.

RIZWAN, A. M., DENNIS, L.Y.C., LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. **Journal of Environmental Sciences**, Pequim, v. 20, n. 1, p. 120–128, 2008.

ROSENZWEIG, C.; SOLECKI, W. D.; HAMMER, S. A., MEHROTRA, S. **Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network**. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

SANTAMOURIS, M., SYNNEFA, A., KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, Freiburg, v. 85, n. 12, p. 3085-3102, 2011.

SANTOS, I. G. S.; GAZZOLA, H. L.; ASSIS, E. S. Influência da Geometria Urbana e da Inércia Térmica na Alteração do Clima Urbano: uma abordagem preditiva. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2003, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Antac, 2003. p. 706-713.

SCHUELER, T. R. The importance of imperviousness. **Watershed Protection Techniques**, Elliott, v. 1, n. 3, p. 100–111, 2000.

TABA, S. T.; ZEKAVAT, P. R.; ESGANDANI, G. A.; WANG, X.; BERNOLD, L. A Multidimensional Analytical Approach for Identifying and Locating Large Utility Pipes in Underground Infrastructure. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 2015, p. 1-10, 2015.

TORRES, F; MACHADO, P. **Introdução a Climatologia**. São Paulo: Cengage, 2011.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Revista Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63. p. 97-112, 2008.

UNIÃO EUROPÉIA. **Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos**. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2012.

UNTHANK, S. **Sustainability as an integral component of underground infrastructure tunnelling in an urban environment**. Victoria, AUS: Curtin University, Department of Transport, Planning and Local Infrastructure, 2016. Disponível em: [https://www.planning.vic.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0014/5315/245-Steven-Unthank-paper.pdf](https://www.planning.vic.gov.au/__data/assets/pdf_file/0014/5315/245-Steven-Unthank-paper.pdf). Acesso em: 18 fev. 2020.

WILBY, R. L., PERRY, G. L. W. Climate change, biodiversity and the urban environment: a criti-

cal review based on London, UK. **Progress in Physical Geography**, v. 30 n. 1, p. 73–98, 2006.

YAO, R.; WANG, L.; HUANG, X.; NIU, Z.; LIU, F.; WANG, Q. Temporal trends of surface urban heat islands and associated determinants in major Chinese cities. **Science of the Total Environment**, v. 609, p. 742–754, 2017.

ZEMAN, F. *Metropolitan Sustainability: Understanding and Improving the Urban Environment*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012.

ZHAO, L.; LEE, X.; SMITH, R. B.; OLESON, K. Strong contributions of local background climate to urban heat islands. **Nature**, Reino Unido, v. 511, p. 216-227, 2014.

**Emmanuela Lopes de Oliveira**

Submetido em: 17/09/2019

✉ emmanuela\_cf@hotmail.com

Aceito em: 25/05/2020

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2134-7030>

2020;23:c01782

**Mara Telles Salles**

✉ marasalles.uff@gmail.com

**Como citar:** OLIVEIRA, E. L.; SALLES, M. T. Relações entre o subsolo urbano e mudanças climáticas em diferentes bairros do Rio de Janeiro. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 23, p. 1-21, 2020.

# Relación entre el Subsuelo Urbano y el Cambio Climático en Diferentes Vecindarios en Río de Janeiro

Emmanuela Lopes de Oliveira  
Mara Telles Salles

São Paulo. Vol. 23, 2020

*Tema en Destaque:  
Urbanización, Pla-  
nificación y Cambio  
Climático*

**Resumen:** La mayoría de las ciudades crecieron de manera desordenada sin planificar y sin preocuparse por el medio ambiente. Además, las redes de infraestructura urbana estaban emergiendo y siendo implementadas. Además, varios impactos en el medio ambiente pueden causar el cambio climático, como aumentar la tasa de sellado del suelo, lo que favorece el aumento de la temperatura y, por lo tanto, la formación de islas de calor. Por lo tanto, el objetivo era analizar el impacto de la ocupación desordenada del subsuelo urbano por las redes de infraestructura subterráneas en el aumento de áreas impermeables y su relación con el cambio climático. La metodología aplicada se basó en la investigación bibliográfica y la encuesta de campo. Por lo tanto, se descubrió que cuanto mayor es la ocupación desordenada del subsuelo urbano, más pequeñas son las áreas destinadas a áreas verdes y permeables, y mayor es la vulnerabilidad al cambio climático.

**Palabras-clave:** Subterráneo urbano; Impermeabilización; Cambios climáticos.

**Como citar:** OLIVEIRA, E. L.; SALLES, M. T. Relación entre el subsuelo urbano y el cambio climático en diferentes vecindarios en Río de Janeiro. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 23, p. 1-20, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190178r2vu2020L6TD>

# Relationship Between the Urban Subsoil and Climate Change in Different Neighborhoods in Rio de Janeiro

Emmanuela Lopes de Oliveira  
Mara Telles Salles

São Paulo. Vol. 23, 2020

*Feature Topics: Urbanization, Planning and Climate Change*

**Abstract:** Most cities grew in a disorderly manner without planning and worrying about the environment. Also, urban infrastructure networks were emerging and being implemented. In addition, several impacts on the environment can cause climate change, such as increasing the soil sealing rate, which favors the increase in temperature and thus the formation of heat islands. Therefore, the objective was to analyze the impact of the disordered occupation of the urban subsoil by underground infrastructure networks on the increase of impermeable areas and their relationship with climate change. The applied methodology was based on bibliographic research and field survey. Thus, it was found that the larger the disordered occupation of the urban subsoil, the smaller the areas destined to green and permeable areas, and the greater the vulnerability to climate change.

**Keywords:** Urban subsoil; Impermeability; Climate change.

**How to cite:** OLIVEIRA, E. L.; SALLES, M. T. Relations between urban subsoil and climate change in different neighborhoods of Rio de Janeiro. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 23, p. 1-19, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190178r2vu2020L6TD>