

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO URBANA

MONOGRAFIA

**O PAPEL DAS FLORESTAS URBANAS NA MITIGAÇÃO E
ADAPTAÇÃO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS
CIDADES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

LARISSA DE SANTIS CANDRO

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO URBANA

**O PAPEL DAS FLORESTAS URBANAS NA MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO FRENTE
ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS CIDADES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

LARISSA DE SANTIS CANDRO

Sob orientação da Professora

Jeanne Almeida da Trindade

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arborização Urbana da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro como parte dos requisitos para obtenção do título de **Especialista em Arborização Urbana.**

Seropédica, RJ
DEZEMBRO, 2022

C216p Candro, Larissa De Santis, 1991

O papel das florestas urbanas na mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas nas cidades: uma revisão sistemática / Larissa De Santis Candro. - Seropédica, 2022. 63 f.

Orientador: Jeanne Almeida da Trindade.
Monografia (Especialização). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Arborização Urbana, 2022.

1. Arborização urbana. 2. Aquecimento global. 3. Cidades resilientes. I. Trindade, Jeanne Almeida da, 1963-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Arborização Urbana III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO URBANA

LARISSA DE SANTIS CANDRO

**O PAPEL DAS FLORESTAS URBANAS NA MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO FRENTE
ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS CIDADES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Arborização Urbana**, no Curso de Pós-Graduação em Arborização Urbana.

APROVADA EM 07/10/2022

BANCA EXAMINADORA



Profa. Jeanne Almeida da Trindade, Dra., UFRRJ



Prof. Henderson Silva Wanderley, Dr., UFRRJ



Prof. Mayumi Cursino de Moura Hirye, Dra., USP

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Professora Jeanne, que me auxiliou e me encaminhou de forma gentil e atenciosa durante o percurso deste trabalho. Na primeira semana de aulas do curso, Jeanne falou que a Universidade é um lugar aonde retornamos para voltar a sonhar e renovar as ideias. Em um contexto de pandemia e desânimo geral, essas palavras fizeram muito sentido para mim. Participar desta turma de pós-graduação me deu motivação para voltar a estudar e pensar em possibilidades para a criação de um mundo melhor.

Dessa forma, agradeço também à iniciativa de todos os professores que tornaram possível a realização desta primeira turma de especialização em arborização urbana na UFRRJ.

À Mayumi Cursino de Moura Hiry e Henderson Silva Wanderley, que aceitaram fazer parte de minha banca. Gostaria também de expressar minha gratidão a Flavio Pereira Telles e Luiz Octávio de Lima Pedreira, que aceitaram ser suplentes da banca. Ao Tasso Azevedo, por fazer a conexão com a Mayumi e me inspirar com suas falas sobre o enfrentamento às mudanças climáticas na Virada ODS.

Aos meus colegas de turma, sempre tão animados. Foi muito especial conhecer todos e fazer parte deste grupo. Ao Luiz Palermo, que foi uma fonte de motivação, ajuda e conhecimento.

À minha mãe, meu pai e meu irmão - Daniela, Renato e André - que apoiam incondicionalmente as minhas empreitadas. Todas as conquistas que tive foram possíveis porque sempre pude contar com vocês. Viva o nosso presente e futuro juntos!

À Simone, minha companheira, por sempre me incentivar a estudar e a melhorar. Por me ensinar a ser uma pesquisadora e deixar o mundo acadêmico mais leve. Por todas as conversas e ajudas que tornaram esse trabalho possível.

Às minhas avós, Ivone e Maria, que sempre torcem por mim.

À Karen, minha querida amiga, pela presença constante, por sempre me perceber e me apoiar nas buscas por sentido e realização na vida.

Ao Fábio Mariz, meu professor e amigo, que é minha inspiração e sempre me motiva, com muito carinho.

À Narimã Marques, que me ajudou muito na conclusão e revisão deste trabalho.

A todas e todos os coletivos, povos tradicionais, guardiões das florestas, ambientalistas, pesquisadores, educadores e pessoas que lutam pelas causas da natureza e que, emprestando as palavras de Ailton Krenak, estão cotidianamente se esforçando para adiar o fim do mundo.

RESUMO

CANDRO, Larissa De Santis. **O papel das florestas urbanas na mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas nas cidades: uma revisão sistemática**. 2022. 63p. Monografia (Especialização em Arborização Urbana). Instituto de Florestas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2022.

Tendo em vista a tendência de crescente expansão urbana a nível global e as mudanças climáticas já em curso no planeta, é esperado que as cidades sejam fortemente afetadas pelos impactos dessas mudanças. Ao mesmo tempo em que sofrerão estes impactos, as cidades têm grande influência nas emissões de gases de efeito estufa. A concentração destes gases na atmosfera é o principal motor do aumento da temperatura global, que por sua vez causa as mudanças climáticas. Já é sabido que as florestas urbanas são um tipo de infraestrutura verde importante para trazer melhorias para as cidades, por conta dos diversos serviços ecossistêmicos que oferecem, como amenização dos efeitos das ilhas de calor urbana, melhoria do microclima, sequestro e armazenamento de dióxido de carbono (CO₂), redução de poluentes no ar, entre outros. Assim, é importante se debruçar no estudo de cidades arborizadas, avaliando as possibilidades que colaboram com a mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas. A proposta deste trabalho é investigar qual o papel das florestas urbanas na mitigação das mudanças climáticas e na criação de cidades mais resilientes, que tenham condições de adaptação frente aos impactos ambientais provenientes das mudanças climáticas. A presente pesquisa também buscou compreender o panorama geral da produção científica que estuda a relação entre as florestas urbanas e mudanças climáticas. Para tal, foi realizada uma revisão sistemática de revisões de literatura em língua inglesa e portuguesa, nas bases de dados *Science Direct* e *Web of Science*, com leitura e análise de 21 artigos elegíveis. A busca das revisões foi realizada a partir da combinação dos seguintes termos: *urban forest, urban forestry, urban trees, street trees, mitigation, global warming, climate change, carbon, GHG, greenhouse gas(es), adaptation, urban adaptation, nature based solutions, sustainable development, resilience* e *resilient cities*. Os resultados indicam que as árvores urbanas têm um papel importante no sequestro e armazenamento de carbono (um dos principais gases de efeito estufa), mas as emissões de CO₂ geradas nas cidades são muito maiores do que a capacidade das árvores em mitigá-las. Ainda assim, este potencial deve ser mais estudado e considerado como uma medida mitigativa. No que diz respeito à adaptação do meio urbano, as florestas urbanas têm bom potencial para criar condições de aumento da resiliência das cidades, melhorando o conforto térmico e reduzindo o estresse por calor, diminuindo as emissões indiretas de CO₂ a partir da economia de energia com resfriamento e colaborando com a drenagem urbana, interceptando as águas pluviais e reduzindo a frequência e intensidade de enchentes e alagamentos. Entretanto, os estudos apontam que as mudanças climáticas também afetarão as florestas urbanas, indicando a importância de avaliar a vulnerabilidade dessas árvores em relação aos impactos climáticos e entender o quanto essa vulnerabilidade pode diminuir a influência das florestas urbanas na mitigação e adaptação. As revisões também ressaltam que mais estudos são necessários neste campo, sobretudo para a América do Sul e regiões de clima tropical.

Palavras-chave: Arborização urbana. Aquecimento global. Cidades resilientes.

ABSTRACT

CANDRO, Larissa De Santis. **The role of urban forests in mitigating and adapting to climate change in cities: a systematic review.** 2022. 63p. Monograph (Specialization in Urban Forest). Forest Institute. Federal Rural University of Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2022.

Because of the trend of increasing urban expansion globally and the climate changes already underway on the planet, it is expected that cities will be strongly affected by the impacts of these changes. At the same time that they will suffer these impacts, cities have a great influence on greenhouse gas emissions. The concentration of these gases in the atmosphere is the main driver of the increase in global temperature, which in turn causes climate change. It is already known that urban forests are an important type of green infrastructure to bring improvements to cities, due to the various ecosystem services they offer, such as mitigating the effects of urban heat islands, improving the microclimate, and capturing and storing carbon dioxide (CO₂), reduction of pollutants in the air, among others. Thus, it is important to focus on the study of tree-lined cities, evaluating the possibilities that collaborate with mitigation and adaptation to climate change. The purpose of this work is to investigate the role of urban forests in mitigating climate change and creating more resilient cities, which can adapt to the environmental impacts arising from climate change. This research also sought to understand the general panorama of scientific production that studies the relationship between urban forests and climate change. To this end, a systematic review of literature reviews in English and Portuguese was carried out in the Science Direct and Web of Science databases, with the reading and analysis of 21 eligible articles. The search for reviews were carried out from the combination of the following terms: urban forest, urban forestry, urban trees, street trees, mitigation, global warming, climate change, carbon, GHG, greenhouse gas(es), adaptation, urban adaptation, nature based solutions, sustainable development, resilience e resilient cities. The results indicate that urban trees play an important role in capturing and storing carbon (one of the main greenhouse gases), but the CO₂ emissions generated in cities are much greater than the ability of trees to mitigate them. Still, this potential should be further studied and considered as a mitigation measure. Concerning the adaptation of the urban environment, urban forests have good potential to create conditions for increasing the resilience of cities, improving thermal comfort and reducing heat stress, reducing indirect CO₂ emissions from energy savings with cooling and collaborating with urban drainage, intercepting rainwater and reducing the frequency and intensity of flooding. However, studies indicate that climate change will also affect urban forests, indicating the importance of assessing the vulnerability of these trees concerning climate impacts and understanding how much this vulnerability can reduce the influence of urban forests in mitigation and adaptation. The reviews also point out that more studies are needed in this field, especially for South America and regions with tropical climates.

Keywords: Urban Forest. Global warming. Resilient cities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - História da mudança da temperatura global e causas do aquecimento recente	07
Figura 2 - Simulação de diferentes cenários conforme as futuras emissões de gases de efeito estufa	08
Figura 3 – Aumento na temperatura do planeta conforme os diferentes cenários simulados .	08
Figura 4 – Distribuição do aumento da temperatura entre continentes e oceano	09
Figura 5 – Tipologias de infraestrutura verde e azul e seus respectivos benefícios para a mitigação e adaptação.....	25
Figura 6 – Benefícios de mitigação e co-benefícios de adaptação para diferentes tipologias de infraestrutura verde e azul. Em destaque na imagem, a tipologia de Florestas Urbanas e Arborização de acompanhamento viário	26
Figura 7 – Ano de publicação das revisões selecionadas	41
Figura 8 – País da instituição do primeiro autor das revisões selecionadas.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Expressões relativas às árvores urbanas encontradas nos relatórios do IPCC.....	22
Quadro 2 - Definição de palavras chaves e expressões para busca.....	28
Quadro 3 - Objetivo 1: busca sobre mitigação base de dados <i>Science direct via Elsevier</i>	32
Quadro 4 - Objetivo 1: busca sobre mitigação base de dados <i>Web of Science</i>	34
Quadro 5 - Objetivo 2: busca sobre adaptação na base de dados <i>Science Direct Via Elsevier</i>	35
Quadro 6 - Objetivo 2: busca sobre adaptação na base de dados <i>Web of Science</i>	37
Quadro 7 - Revisões elegíveis para leitura após buscas, triagem e exclusão de duplicados...	40
Quadro 8 - Categorização dos estudos elegíveis conforme tema.....	43
Quadro 9 - Reunião das principais ideias e pontos de atenção sobre mitigação dos resultados analisados.....	44
Quadro 10 - Reunião das principais ideias e pontos de atenção sobre adaptação dos resultados analisados.....	45
Quadro 11 - Reunião das principais ideias e pontos de atenção sobre vulnerabilidade dos resultados analisados	46
Quadro 12 - Lacunas de pesquisa indicadas nos resultados analisados	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AbE	Adaptações baseadas em Ecossistemas
AR6	<i>Sixth Assessment Report</i>
BVOCs	<i>Biogenic volatile organic compound</i>
CO₂	Dióxido de carbono
GEE	Gases de efeito estufa
GHG	<i>Greenhouse gas</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
SbN	Soluções baseadas na Natureza
SPM	<i>Summary for Policymakers</i>
VD	Variável Dependente
VI	Variável Independente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. APROXIMAÇÃO DO TEMA	02
2.1. Cidades e o aumento da população urbana	02
2.2. Mudanças climáticas e crise ambiental	06
2.3. As árvores nas cidades.....	12
2.4. Futuro das cidades: a urgência de novos modelos.....	18
2.5. Apontamentos do IPCC sobre a relação entre florestas urbanas e mudanças climáticas ..	21
3. MÉTODO	28
4. RESULTADOS	41
5. DISCUSSÃO	49
5.1. Mitigação.....	49
5.2. Adaptação.....	51
5.3. Vulnerabilidade	53
5.4. Considerações, limitações e recomendações	54
6. CONCLUSÃO.....	57
7. REFERÊNCIAS	59

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a tendência de crescente expansão urbana a nível global (UNITED NATIONS, 2019) e as mudanças climáticas já em curso no planeta, espera-se que as cidades sejam fortemente afetadas pelos impactos destas mudanças (IPCC, 2021a). Ao mesmo tempo em que sofrerão com estes efeitos, as cidades têm grande influência nas emissões de gases de efeito estufa, criando um ciclo desfavorável. A concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera é o principal motor do aumento da temperatura global, que por sua vez causa as mudanças climáticas (IPCC, 2021a).

As florestas urbanas são um tipo de infraestrutura verde importante para trazer melhorias para as cidades (HERZOG, 2013), por conta dos diversos serviços ecossistêmicos que oferecem, como amenização dos efeitos das ilhas de calor urbana, melhoria do microclima, sequestro e armazenamento de dióxido de carbono (CO₂), redução de poluentes no ar, entre outros (ROELAND et al., 2019). Assim, é importante se debruçar no estudo de cidades arborizadas, avaliando as possibilidades que colaboram com a mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas.

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho é obter um panorama da literatura científica que estuda a relação entre as florestas urbanas e mudanças climáticas. Os objetivos específicos são investigar qual o papel das florestas urbanas na: 1) mitigação do aquecimento global e 2) na criação de cidades mais resilientes, criando condições de adaptação frente aos impactos ambientais provenientes das mudanças climáticas.

Para tal, na *Aproximação do tema*, foi realizada uma pesquisa que buscou contextualizar: 1) a expansão urbana e sua tendência para os próximos anos; 2) as causas e principais efeitos das mudanças climáticas e cenários futuros; 3) o histórico das árvores urbanas e do pensamento ecológico nas cidades; 4) possibilidades para novos modelos urbanos, que fomentam a criação de cidades mais resilientes e 5) os dados mais recentes do IPCC sobre as florestas urbanas e mudanças climáticas.

Em seguida, foi realizada uma revisão sistemática de revisões de literatura em língua inglesa e portuguesa, nas bases de dados *Science Direct* e *Web of Science*, sobre a relação entre florestas urbanas, mitigação e adaptação, resultando na leitura e análise de dados de 21 artigos elegíveis.

2. APROXIMAÇÃO DO TEMA

1.1. Cidades e o aumento da população urbana

Para falar da expansão das cidades e do aumento da população urbana, cabe antes, explicar brevemente alguns conceitos. Definir a cidade é uma tarefa complexa, visto que elas existem em diversos formatos, com constantes mudanças ao longo do tempo, gerando diversas interpretações e correntes de pensamento para tratar do assunto. Assim, “diante de fenômenos tão divergentes como as antigas cidades muradas e as gigantescas metrópoles contemporâneas, seria possível definir cidade?” (ROLNIK, 1995, p.12)

Mancuso (2021), tenta responder à pergunta da seguinte forma:

“O que une as cidades de todos os tipos e de todos os tempos, segundo o historiador inglês Arnold J. Tonybee (1889-1975) é que os habitantes de uma cidade não conseguem produzir, dentro dos limites que ela apresenta, os alimentos dos quais necessitam para sobreviver. Uma cidade está, portanto, necessariamente separada do contexto natural que a acolhe. É algo muito diferente da própria natureza. É o lugar dos seres humanos. Um lugar criado por nós onde a natureza não é admitida.” (MANCUSO, 2021, p.45)

Segundo Rolnik (1995), a cidade é um ímã, que atrai as pessoas. É local de moradia e trabalho, um espaço de construção, de política e de acumulação e riquezas e conhecimentos. De acordo com Lefebvre (2001), as cidades existiram de diversas formas antes da industrialização: houve a cidade oriental, a cidade arcaica e a cidade medieval, atravessadas pela política e posteriormente, pelo comércio. Porém, para falar da questão urbana é imprescindível falar do processo de industrialização, que “é, há um século e meio, o motor das transformações na sociedade” (LEFEBVRE, 2001, p.11).

O processo de industrialização acelerou o processo de urbanização, intensificando o fluxo de pessoas saindo do campo e indo para as cidades trabalhar nas fábricas. Assim, “a cidade, tal como a fábrica, permite a concentração dos meios de produção num pequeno espaço: ferramentas, matérias-primas, mão-de-obra” (LEFEBVRE, 2001, p.15).

Conforme Rolnik:

O espaço urbano deixou assim de se restringir a um conjunto denso e definido de edificações para significar, de maneira mais ampla, a predominância da cidade sobre o campo. Periferias, subúrbios, distritos industriais, estradas e vias expressas recobrem e absorvem zonas agrícolas num movimento incessante de urbanização. No limite, este movimento tende a devorar todo o espaço, transformando em urbana a sociedade como um todo. (ROLNIK, 1995, p.12)

Este movimento de transformação urbana foi e é um processo histórico, com diversas causas, sendo a industrialização, uma das mais impactantes. Atualmente, segundo a United Nations (2019), a crescente urbanização é ocasionada por fatores como a migração da população das áreas rurais para as áreas urbanas, o maior número de nascimentos que mortes nas cidades e a mudança no uso do solo, que gera a urbanização de áreas rurais. É importante ressaltar que o aumento da urbanização não reflete apenas no aumento populacional; a quantidade de cidades e o tamanho dessas também aumentam. Para apresentar um panorama do aumento da urbanização e suas implicações futuras, serão descritos dados do relatório *World Urbanization Prospects*, produzido pelas Nações Unidas¹, que apresenta o histórico e as tendências para a população urbana mundial.

Na década de 50, a maior parte das pessoas ainda morava em áreas rurais e apenas 30% da população mundial estava concentrada nas cidades. Desde então, o processo de urbanização foi se intensificando ao redor do mundo e em 2007, a população urbana passou a ser maior que a população rural em termos globais. Desse ano em diante, o número de habitantes em áreas urbanas continuou crescendo mais do que nas áreas rurais e as estimativas são de que, até 2050, 68% da população mundial esteja concentrada nas cidades. Em apenas um século de intervalo, 1950-2050, as cidades terão crescido vertiginosamente e a distribuição da população no planeta se inverterá (UNITED NATIONS, 2019).

A distribuição da população urbana não é homogênea. Ainda que a quantidade de pessoas em áreas urbanas seja desigual em termos globais e que o ritmo do crescimento seja diferente entre países, os indicadores mostram que a tendência mundial é o crescimento expressivo da população urbana. Quase 50% dessa população vive em núcleos urbanos pequenos, com menos de 500 mil habitantes, enquanto aproximadamente 13% vivem nas megacidades, que são aquelas com dez milhões de habitantes ou mais. A maior parte das megacidades estão concentradas na Ásia, seguida pelas América Latina e Central. As projeções do relatório estimam que no ano de 2030 existirão 43 megacidades no mundo, concentradas principalmente nos países em desenvolvimento (UNITED NATIONS, 2019).

A tendência global projetada é de aumento da população urbana, mas o ritmo e a taxa de crescimento dessa população não são homogêneos, variando conforme a renda e o nível de desenvolvimento dos países e continentes. Os dados de 2018 indicam que a América Latina, Caribe e América do Norte são as regiões mais urbanizadas do mundo, com uma taxa de pouco mais que 80% de população urbana. A Europa tem em torno de 75% da população concentrada

¹ Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/>. Acesso em: 05 mar. 2022

em áreas urbanas, seguida da Oceania, com quase 70%. A Ásia, mesmo sendo o continente mais populoso do mundo, ainda tem um expressivo número de habitantes vivendo em áreas rurais, apresentando apenas 49,9% da população urbana. Na África, 42,5% da população está nos centros urbanos (UNITED NATIONS, 2019).

As projeções para 2050 indicam que Europa e América continuarão com tendência de crescimento, mas em ritmo mais lento. Já África e Ásia terão um grande aumento no crescimento urbano nas próximas décadas, com estimativas de, em 2050, abrigarem juntas mais da metade da população urbana do mundo (UNITED NATIONS, 2019).

Para este trabalho, a relevância desses indicadores e projeções diz respeito aos desafios que as cidades, sobretudo as megacidades trazem, a partir da perspectiva ambiental. Uma questão importante é a de que cidades, enquanto abrigam mais da metade da população global, correspondem à uma área de apenas “2,7% da massa terrestre do planeta” (MANCUSO, 2021, p. 47). Dessa forma, os espaços urbanos são locais de densidades demográficas altíssimas e é necessário pensar o que a expansão das cidades representa para o futuro da humanidade.

Segundo Mancuso (2021) o crescimento descontrolado das cidades e sua desvinculação da natureza cria uma série de consequências negativas. A partir da caracterização dos centros urbanos, o autor mostra como esses espaços estão baseados em modelos dependentes, de ciclo aberto, que consomem muitos recursos e geram grandes impactos.

Foram as cidades que criaram possibilidades para os seres humanos prosperarem e desenvolverem tecnologia e riqueza, mas Mancuso (2021) alerta que com a tendência da população mundial se concentrar cada vez mais nesses espaços, os humanos acabaram se tornando uma espécie especialista². Isso não significa que a humanidade não possa viver fora dos centros urbanos, mas foi nesse tipo de ambiente que ela se adaptou, se expandiu e prosperou (MANCUSO, 2021). Dessa forma, se os espaços urbanos se modificarem bruscamente e as condições que permitiram que os humanos prosperassem nesse ambiente também mudarem, a manutenção e sobrevivência da espécie humana estará seriamente ameaçada.

Para o autor, as cidades são insustentáveis, pois sua existência só é possível através da exploração dos recursos naturais em outras partes do planeta. As cidades atuais não são capazes de funcionar de forma autônoma, não produzem os recursos necessários à sua sobrevivência e

² Na Biologia, se utiliza o conceito de nicho ecológico e de espécies generalistas e especialistas. Generalistas são as espécies que tem grande adaptabilidade para viver em diversas condições ambientais e conseqüentemente, um amplo nicho ecológico. Especialistas são espécies que precisam de condições muito específicas para a sua sobrevivência e tem um nicho ecológico restrito. O nicho ecológico, por sua vez “[...] é determinado pelas características fundamentais de seu hábitat e pelas adaptações que ela faz nele para se multiplicar e se espalhar.” (MANCUSO, 2021, p. 49)

não são capazes de fechar o ciclo dos resíduos produzidos em seu interior. A pegada ecológica³ das cidades é altíssima e todos os recursos utilizados para a manutenção da vida humana nas cidades são finitos, que se esgotam na natureza. Dessa forma, é necessário entender que as cidades não podem se expandir de forma ilimitada (MANCUSO, 2021).

O autor argumenta que:

[...] não temos refletido o suficiente sobre a vasta quantidade de recursos de que se lança mão para manter as cidades e sobre a velocidade com a qual o fenômeno da urbanização avança. A urbanização de grande parte da população humana representa uma mudança em nossas condições de vida que só pode ser comparada àquela ocorrida há cerca de 12 mil anos, quando se deu a transição do homem nômade dos caçadores-coletores para a vida sedentária possibilitada pela agricultura. (MANCUSO, 2021, p. 56)

Ao longo da formação das cidades na história humana, o modelo mais frequente de urbanização partia de uma lógica excludente, separando a natureza do espaço urbano, que não se preocupa com o consumo de recursos e com o impacto disso tanto para as próprias cidades quanto para as áreas rurais e ecossistemas naturais. Com algumas exceções, a expansão urbana ocorreu sem considerar os efeitos de longo prazo deste modelo, sobretudo no que diz respeito ao equilíbrio com as relações ecológicas que fazem a manutenção da vida no planeta (MANCUSO, 2021).

Na contramão de Mancuso, é necessário destacar a existência de autores defendendo que o problema não são as cidades, mas o estilo de vida humano. Esta abordagem está em consonância com a linha de urbanismo que defende que as cidades são o reflexo de seus habitantes e se transformam conforme o modo de vida, as necessidades e vontades das pessoas.

Seja a abordagem de Mancuso ou outra, é fato que a maneira como as cidades estão formadas atualmente gera grandes impactos no meio ambiente. Ao mesmo tempo, as cidades são diretamente dependentes desse mesmo sistema natural. Dessa forma, a expansão dos centros urbanos influencia diretamente as mudanças climáticas que já estão em curso no planeta. Uma falha deste modelo está justamente no fato de que as próprias cidades serão fortemente afetadas por essas mesmas mudanças, como será abordado a seguir.

³ “[...] a pegada ecológica mede todos os recursos (combustível, eletricidade, água, etc.) usados pelas pessoas na cidade, assim como todos os resíduos produzidos, e relaciona a soma total à quantidade de terra (medida em hectares) para gerar os recursos e eliminar o lixo.” (MANCUSO, 2021, p. 54)

1.2. Mudanças climáticas e crise ambiental

O fato de a temperatura do planeta estar subindo é uma realidade, já anunciada há um bom tempo pela comunidade científica⁴. A maior parte dos pesquisadores indica que a principal causa desse aumento de temperatura é a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente do dióxido de carbono e metano, produzidos pela ação antropogênica (MANCUSO, 2021). O que a ciência vem estudando atualmente são os efeitos do aumento de temperatura. Alguns deles já são mais conhecidos, como o aumento do nível do mar, ondas de calor com temperaturas extremamente elevadas, incremento na frequência e intensidade dos fenômenos atmosféricos e dos incêndios. A grande dificuldade é prever com detalhes como será a vida no planeta se o aquecimento global não for detido, uma vez que “[...] a temperatura é a base para qualquer processo físico ou biológico.” (MANCUSO, 2021, p. 62).

A comunidade científica está se debruçando sobre os efeitos do aumento de temperatura e desenvolvendo modelos e ferramentas para a previsão desses impactos. Um dos trabalhos mais atuais sobre o tema é o relatório *Sixth Assessment Report* (AR6), publicado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) entre 2021 e 2022.

O IPCC é um órgão científico de caráter intergovernamental, que tem como principal objetivo, fornecer dados sobre as mudanças climáticas através da revisão da literatura científica produzida globalmente. Os painéis do IPCC trazem as informações mais atuais sobre o tema, indicam os riscos e consequências dessas mudanças e trazem possibilidades de mitigação e adaptação frente a essa realidade, para fornecer evidências e dados sólidos que auxiliem a formulação de políticas públicas globais para o enfrentamento das mudanças climáticas. O relatório AR6 é produzido por três grupos de trabalho, que organizam as informações nas seguintes categorias:

- Grupo I: Base da Ciência Física,
- Grupo II: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade
- Grupo III: Mitigação da Mudança Climática.

Para cada um desses grupos, é produzido o *Summary for Policymakers* (SPM)⁵, que traz de forma resumida, os principais pontos levantados no relatório. O SPM do Grupo de Trabalho I reafirma que a principal causa das mudanças climáticas é a atividade humana no planeta e que

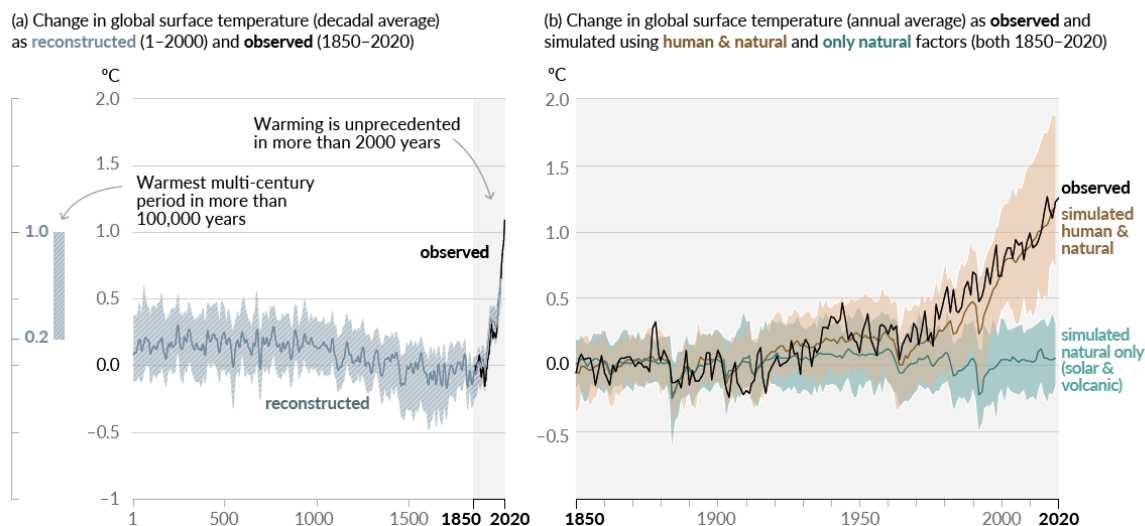
⁴ O IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - foi criado pela ONU em 1988, com o objetivo de fornecer revisões e recomendações sobre as mudanças climáticas. O primeiro relatório do IPCC foi publicado em 1990.

⁵ Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>. >. Acesso em 12 mar. 2022

essas mudanças já afetam todas as regiões do mundo, de diferentes formas. O relatório afirma que essas alterações são sem precedentes e não fazem parte das variações climáticas naturais do planeta, mas são consequências diretas da ação humana desde a época pré-industrial. De 1850 em diante, a humanidade já emitiu 2.390 bilhões de toneladas de CO₂ (IPCC, 2021a).

Figura 1 - História da mudança da temperatura global e causas do aquecimento recente.

Changes in global surface temperature relative to 1850–1900

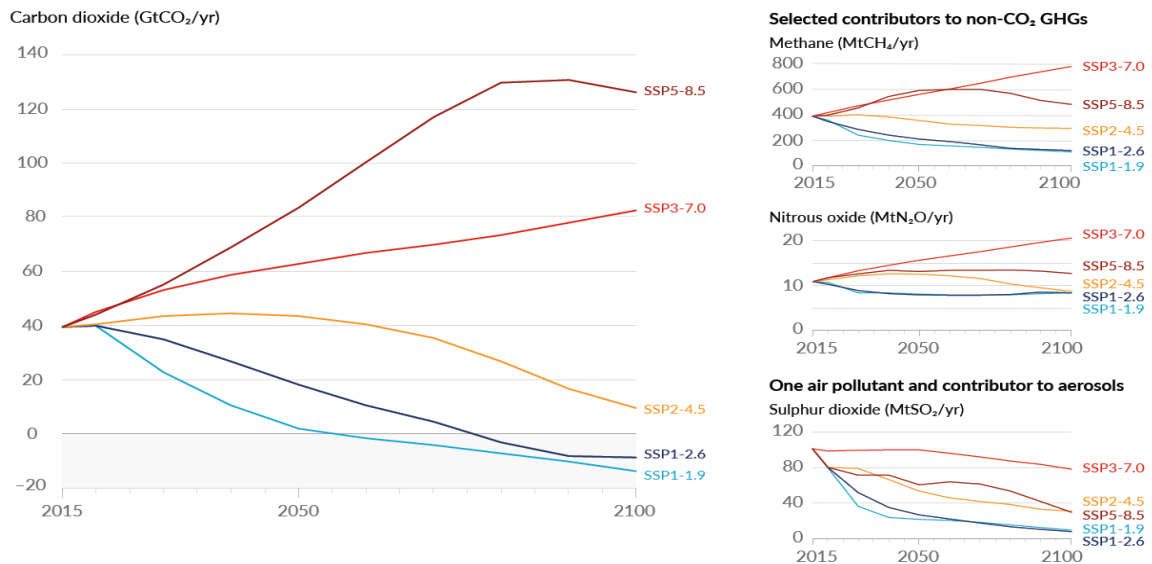


Fonte: IPCC, 2021a, p.6

O Grupo I do IPCC modelou cinco cenários em que o aumento de temperatura no planeta é diferente, conforme as ações de mitigação que forem tomadas no presente. O cenário SSP5-8.5 é o mais provável caso as ações e estilo de vida da humanidade permaneçam sem alterações. De acordo com cada simulação temos o seguinte aumento de temperatura:

Figura 2 - Simulação de diferentes cenários conforme as futuras emissões de gases de efeito estufa

(a) Future annual emissions of CO₂ (left) and of a subset of key non-CO₂ drivers (right), across five illustrative scenarios

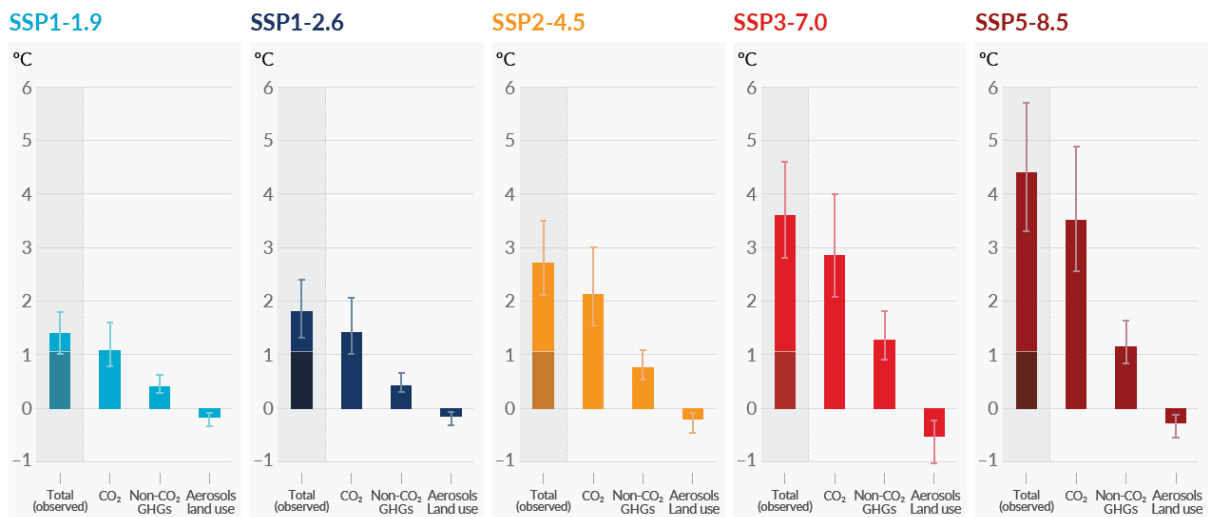


Fonte: IPCC, 2021a, p.13

Figura 3 – Aumento na temperatura do planeta conforme os diferentes cenários simulados

(b) Contribution to global surface temperature increase from different emissions, with a dominant role of CO₂ emissions

Change in global surface temperature in 2081–2100 relative to 1850–1900 (°C)



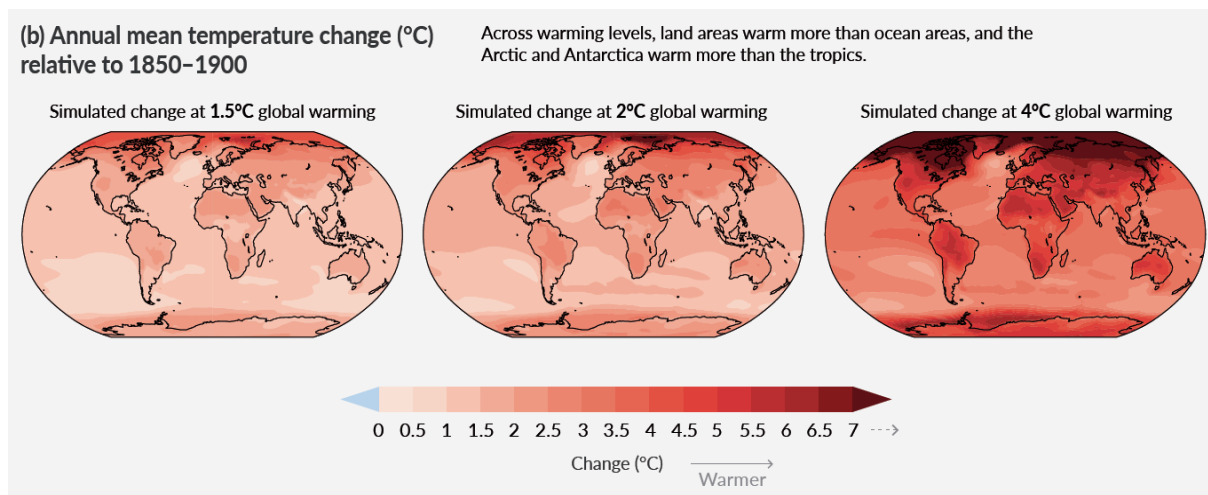
Total warming (observed warming to date in darker shade), warming from CO₂, warming from non-CO₂ GHGs and cooling from changes in aerosols and land use

Fonte: IPCC, 2021a, p.13

Um dado importante é que o aumento da temperatura não é uniforme entre os continentes e oceanos. Com o efeito da ação humana, o planeta já se aqueceu em média 1.1°C, mas esse aquecimento é mais intenso nos continentes, que experenciam uma temperatura em torno de 1.6°C. Essa distribuição irregular do aumento da temperatura pode ser verificada com as projeções para os diferentes cenários simulados. O aumento em °C impacta o mundo de

forma muito diferente; a parte terrestre do planeta sofre mais com a elevação das temperaturas do que os oceanos e fica evidente que algumas regiões do globo são mais afetadas do que outras:

Figura 4 – Distribuição do aumento da temperatura entre continentes e oceano



Fonte: IPCC, 2021a, p.16

Outros dados e efeitos do aquecimento global que o SPM do Grupo de Trabalho I - Base da Ciência Física (IPCC, 2021a) apresenta são:

- Os gases de efeito estufa contribuem para o aumento da temperatura enquanto os aerossóis (ex.: poluição urbana) contribuem com um resfriamento, ou seja, mascaram o aumento da temperatura;
- A projeção do aumento do nível do mar é de 0,5m e 1m até o ano de 2100 e 15 m até o ano de 2300;
- Extremos de calor ocorrerão com maior frequência;
- O período de retorno de fenômenos climáticos intensos diminuirá (ex.: tempestades violentas que ocorriam a cada dez anos passam a ocorrer a cada três anos);
- Aumento na temperatura de apenas 0,5°C já traz impactos significativos no regime de chuvas, aumentando a possibilidade de precipitações muito intensas ou secas mais severas em algumas regiões;
- O aumento da temperatura global aumenta a possibilidade de regiões enfrentarem mudanças e fenômenos climáticos simultâneos, com destaque para ondas de calor aliadas a secas;
- Temperaturas mais altas combinadas com secas mais intensas aumentam as queimadas;

- As mudanças climáticas são um dos principais motores da perda de biodiversidade. As florestas tropicais são sensíveis ao aumento de temperatura e ficam sujeitas ao processo de savanização;
- As mudanças climáticas combinadas com a interferência humana no meio ambiente causarão a degradação e perda dos ecossistemas terrestres, de água doce, costeiros e marinhos;
- A interferência nos ecossistemas diminui a sua capacidade de absorção e fixação de CO₂, causando um incremento no aumento da temperatura.

Para o Brasil, as projeções indicam que, com um aumento de 2°C na média global, a temperatura aumentaria entre 3° e 3,5°C. O país se tornaria mais seco, com grande redução de chuvas sobretudo no centro-oeste e no leste da Amazônia, o que por sua vez, afeta a umidade do solo e a produção agrícola. As cidades costeiras são afetadas pelo nível do mar e ficam mais sujeitas às inundações (IPCC, 2021a).

O relatório traz alertas importantes e destaca a urgência das ações para o combate às mudanças climáticas. Para o IPCC, a principal e mais urgente meta é limitar o aquecimento global a 1,5°, o que corresponde ao cenário SSP5-1.9. Assim, a melhor alternativa para o planeta é a redução imediata e drástica dos gases de efeito estufa. O relatório também alerta que a janela de tempo para pôr em práticas ações que reduzam essas emissões é pequena, e perdendo este período, a limitação do aquecimento a 1,5°C passa a ser impossível. Por fim, é importante levar em consideração que chegar nos cenários ideais e limitar o aquecimento global em 1,5°C evita inúmeros impactos, se comparado com os outros cenários, mas ainda assim representa uma mudança incomparável com a situação atual do planeta (IPCC, 2021a).

Assim, o SPM do Grupo I (IPCC, 2021a) indica as principais medidas a serem tomadas com urgência e em escala global para reduzir o aquecimento global e limitar o aquecimento ao máximo de 1,5°C:

- Reduzir as emissões de CO₂ em 7% ao ano;
- Reduzir as emissões de metano em 70%;
- Mitigar as mudanças para depois se adaptar a elas;
- Reduzir o desmatamento;
- Restaurar sistemas degradados para que voltem a fixar carbono.

Um conceito importante trazido pelo relatório é o dos *tipping points*, ou pontos de não retorno, que trata dos eventos irreversíveis causados pelas mudanças climáticas. O aumento da

temperatura do planeta e os impactos oriundos disso, podem, em alguns casos, alterar drasticamente o ambiente, sem a possibilidade de recuperar seu estado original, mesmo no longo prazo. Como exemplos, é possível citar o degelo da Groenlândia e Antártica, o derretimento do *permafrost*⁶ e colapso da Floresta Amazônica. (AGÊNCIA FAPESP, 2021)

O SPM do Grupo de trabalho II - Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade – indica que os pontos de não retorno, além de ambientais, também são sociais. Com as mudanças climáticas, as desigualdades sociais aumentam e as populações mais vulneráveis ficam mais suscetíveis aos impactos ambientais oriundos do aquecimento global. Esses impactos podem trazer drásticos prejuízos para a humanidade, incluindo o colapso de grupos sociais, crises econômicas e guerras civis. Os dados do IPCC indicam que cerca de 42 a 46% da população mundial é altamente vulnerável às mudanças climáticas, sendo que a vulnerabilidade aumenta conforme gênero, etnicidade, renda e idade. Os impactos sociais de uma crise ambiental são inúmeros e afetam a produção agrícola, a pesca, segurança alimentar, a saúde humana, entre outros. (IPCC, 2022a)

Dessa forma, tendo em vista que a maior parte da população mundial se concentra nos centros urbanos, que a tendência para a população urbana é de expansão e que as mudanças climáticas já começam a impactar o mundo, é importante pensar em como o aquecimento global será sentido e quais seus efeitos nos espaços urbanos.

O que mudará o ambiente de nossas cidades é o aquecimento global. Um fenômeno tão repentino e de tais proporções que representa exatamente aquela mutação perigosa das condições das quais estamos falando. E que, paradoxalmente tem sua origem principal nas cidades. As cidades são, de fato, os principais motores de nossa agressão ao meio ambiente. Atualmente, elas produzem 75% das emissões de carbono e 70% dos resíduos, além de serem responsáveis por cerca de 70% do consumo global de energia e por mais de 75% do consumo mundial de recursos naturais. Até 2050, as cidades deverão ter capacidade para abrigar mais de 2,5 bilhões de pessoas, com um consumo de recursos que, no momento, é difícil de imaginar. Diante desses números, fica claro que qualquer solução para o problema do impacto humano só pode passar pelas cidades (MANCUSO, 2021, p. 52)

Com o aumento da temperatura global, as cidades – o novo nicho ecológico da espécie humana – serão fortemente impactadas. Os efeitos do aquecimento global já podem ser experimentados em diversas cidades ao redor do mundo e cada centro urbano terá suas particularidades, mas de forma geral, as cidades estarão suscetíveis a:

[...] fenômenos de inundação, cada vez mais frequentes e perigosos em virtude do aumento inevitável do nível do mar. Os fenômenos atmosféricos cada vez mais violentos – tempestades, inundações, vento, seca – provocarão danos crescentes que vão atingir a população e ter impactos expressivos no âmbito econômico, causando

⁶ Camada da superfície terrestre que fica congelada, com temperatura igual ou abaixo de 0 °C, por pelo menos dois anos, localizada na região do Ártico. O derretimento do *permafrost* em libera grandes quantidades de gases como dióxido de carbono e metano, que aceleram o processo de aquecimento global. (NSIDC, 2017)

interrupção nas atividades comerciais e no funcionamento normal da cidade. As ondas de calor do verão serão cada vez mais frequentes, com efeitos desastrosos para a saúde das pessoas. Com o aumento da temperatura, aumentam as epidemias e os tipos de patologias. (MANCUSO, 2021, p. 62)

No geral, o modelo atual das cidades gera ambientes com características que produzem impactos negativos. O combinado de edificações, revestimentos, cores, forma de transporte e poucos espaços verdes já criam condições ambientais negativas, que afetam a qualidade de vida nos centros urbanos. Um bom exemplo disso é o fenômeno das ilhas de calor⁷. Dessa forma, o efeito do aquecimento global será amplificado pelas condições dos espaços urbanos, potencializando as consequências negativas do aumento de temperatura.

As mudanças climáticas em curso, ao mesmo tempo em que tem origem nos modelos insustentáveis dos centros urbanos, vão modificar as cidades, dificultando a vida nesses espaços. Assim, é preciso pensar em um novo modelo de cidade, que ao mesmo tempo possa mitigar os efeitos climáticos e tornar as cidades mais preparadas e resilientes a essas mudanças que já estão em curso.

É importante ressaltar que os centros urbanos dos países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos serão mais afetados pelas mudanças climáticas, uma vez que suas cidades já sofrem com problemas de infraestrutura, assentamentos precários, alagamentos etc. A somatória da situação atual com os efeitos das mudanças climáticas é catastrófica, sobretudo para as populações mais vulneráveis.

1.3. As árvores nas cidades

Na história do Ocidente, ainda que houvesse o uso pontual de árvores nas cidades das Sociedades Antigas e durante a Idade Média (sobretudo com caráter utilitário, como para funções alimentícias), o início do que é conhecido como Arborização Urbana remete ao Renascimento, na França, Itália, Espanha e Holanda. Nesse período, as árvores começaram a ser usadas em áreas de lazer e sobretudo como elemento estético em palácios e grandes jardins monumentais.

Foi o começo do Renascimento, movimento intelectual e artístico que buscava a perfeição [...] para demonstrar a harmonia do universo com o seu centro: o Homem, conforme se acreditava na época. Esse movimento resultou no início de reformas urbanas focadas em conceitos artísticos de estética, perfeição e beleza. Assim inspirados, os urbanistas começaram a transformar a cidade de Roma com a abertura de vias rasgando o tecido urbano medieval, a construção de edifícios majestosos e o investimento em arte tanto dentro dos edifícios quanto em áreas urbanas. Essa

⁷ “[...] a ilha de calor é o fenômeno segundo o qual as temperaturas na cidade são mais elevadas do que nas áreas rurais circundantes.” (MANCUSO, 2020, p. 63)

influência chegou aos jardins monumentais [...] que são estruturados por grandes eixos centrais. (HERZOG, 2013, p. 35)

Nos séculos XV e XVI, a Revolução Científica possibilita o desenvolvimento de novas tecnologias e bases de conhecimento, desfazendo a crença de que o Homem é o centro do Universo. Com a Reforma Protestante e a Contrarreforma, as estruturas de poder se alteram. A arte acompanha esse movimento dando origem ao Barroco, um estilo extravagante e subjetivo, em contraposição ao racionalismo estético que dominava o campo da arte e da arquitetura. Nesse sentido, as mudanças formais trouxeram conceitos de infinitude e grandiosidade e assim os jardins ganharam dimensões e eixos monumentais, sendo muito utilizados como áreas de lazer para a nobreza. O Palácio e Jardins de Versalhes são o exemplo mais conhecido desse período.

Essa mudança no campo da arte e arquitetura influencia o urbanismo e “os novos conceitos de organização e forma espacial, estruturados por esse eixo monumental, ultrapassaram os limites dos jardins reais e passaram a ser incorporados em planos urbanos.” (HERZOG, 2013, p. 37) Também é nesse período que ocorre a expansão marítima, a colonização das Américas e a exploração de recursos naturais na Ásia e África. Nas Américas, a construção dos núcleos urbanos era feita nos moldes europeus e as cidades importavam as tendências da nobreza europeia.

O desenvolvimento científico dessa época criou condições para o começo da Revolução Industrial, que provocou mudanças profundas de ordem social, econômica e urbana em toda a Europa. Com o surgimento das máquinas à vapor e do motor à combustão, novas formas de trabalho surgiram. As fábricas, que se localizavam nas cidades, precisavam de mão-de-obra e houve uma intensa migração da população que saiu das áreas rurais para as urbanas. As cidades se expandiram rapidamente neste período.

“A economia industrial e as novas técnicas ocasionaram mudanças profundas nas formas das cidades e em suas relações com o ambiente, de maneira rápida e tremendamente impactante, com reflexos ambientais e sociais que são sentidos até os dias atuais.” (HERZOG, 2013, p. 39)

Com o aumento da população, o crescimento urbano desordenado, as condições insalubres de trabalho, a poluição, as condições de moradia precárias e sem infraestrutura, problemas de saúde começam a atingir grande parte da população, que passa a sofrer com surtos de doenças e epidemias. Esse novo modelo de cidade industrial tem lugar, inicialmente, na Inglaterra, mas depois se expande para outros países.

Essa cidade que cresceu fundamentada no liberalismo econômico focado no indivíduo, sem planejamento, regulação ou coordenação, ficou conhecida como cidade liberal. A qualidade de vida ficou insustentável, com péssimas condições de

salubridade. Epidemias espalhavam-se rapidamente, com taxas de mortalidade altíssimas, atingindo os moradores indiscriminadamente. (HERZOG, 2013, p. 41)

Segundo Trindade (2021), a cidade que resulta da industrialização, caótica, com baixa qualidade de vida, adensada e sem vegetação, dá lugar a um ideal campestre. O desejo de retomar uma vida mais rural, com a paisagem bucólica característica do campo, remetendo à saúde e calma, é o ponto de partida para o início de transformações urbanas almejando a construção de cenários evocando esse conceito.

Nesse sentido, o retorno da vegetação, para dentro dos limites antes destinados às construções e às vias de acesso, torna-se uma questão fundamental e altamente valorizada. As árvores são reintroduzidas nos ambientes urbanos e se estabelece uma série de medidas de incentivo aos novos plantios e à preservação da vegetação existente. (TRINDADE, 2021, p. 297)

Dessa forma, a partir do séc. XIX, as administrações municipais começaram a tentar regularizar e ordenar os centros urbanos para melhorar as condições de vida, criando algumas normatizações e levando as fábricas para áreas mais afastadas dos centros. Neste momento os parques urbanos são implementados como uma política, inclusive, sanitária, e as ruas passaram a ser alargadas e arborizadas:

Com o objetivo de melhorar a salubridade das cidades pós-liberais, os governantes adotaram a doutrina do higienismo para orientar as intervenções urbanas [...]. Na época se acreditava que a causa das doenças e epidemias eram os “miasmas” ocasionados pela emanção de gases, oriundos da falta de saneamento, pela umidade e pela falta de ventilação. Com isso, tiveram início grandes aberturas no tecido urbano, com demolições, alargamento de ruas para propiciar ventilação nas moradias e obras que visavam à eliminação de áreas úmidas e alagáveis, dando fim aos dejetos que eram jogados nas vias públicas. (HERZOG, 2013, p. 42)

É na Inglaterra que se dá o início da implementação dos parques públicos na malha urbana, primeiro com a abertura de parques privados da Coroa inglesa para a população e em um segundo momento, com a inserção de áreas verdes nos novos empreendimentos imobiliários de iniciativa privada (Trindade, 2021). Paralelamente às iniciativas do governo, o contexto precário da população propicia o surgimento de reações da sociedade civil para tentar melhorar a qualidade de vida da população. Um exemplo expressivo é o movimento de luta pelos parques urbanos na Inglaterra, que pressiona a Coroa para ofertar mais áreas verdes com elementos naturais nas cidades. Com a expansão das cidades, o campo ficou cada vez mais longe de seus moradores e era necessário a criação de espaços de lazer e desconpressão, que remetesse aos ambientes rurais. Neste período, diversas áreas da Coroa inglesa viraram parques, com um importante papel social.

Um marco desta época são as reformas realizadas em Paris na metade do séc. XIX, pelo Barão Georges-Eugène Haussmann. (PAIVA; GONÇALVES, 2019). A remodelação das áreas

centrais da cidade, com abertura de grandes eixos, era motivada por aspectos higienistas e de controle. Nesse contexto, as árvores foram inseridas como elementos de uma composição estética, sobretudo com o plantio em linhas e formando aleias, ao longo dos *boulevards*. A rede de infraestrutura urbana foi melhorada, foram construídos bosques e parques e houve uma grande preocupação com os aspectos formais e estéticos dos centros urbanos.

A reforma urbanística de Paris foi importante pois influenciou várias cidades a fazerem o mesmo, colaborando na difusão do conceito da arborização urbana. Porém, é importante ressaltar que essas transformações estavam ligadas à nobreza e ocorriam em espaços pertencentes ou frequentados por esta classe social. Assim, a população trabalhadora, que morava nas áreas periféricas, não tinha o mesmo acesso a essas regiões qualificadas, o que frequentemente, acontece até os dias atuais.

A política inglesa de implementar parques públicos na malha urbana e as reformas parisienses passam a influenciar outros países, com a criação de relevantes parques como o *Central Park*, nos Estados Unidos. Desse período em diante, a arborização urbana evolui incorporada aos parques urbanos, que passam a ter novos formatos e influências. Por exemplo, com o advento dos automóveis, surgem os *parkways* e com os movimentos ambientalistas e com a difusão do pensamento ecológico, os parques naturais.

A partir do século XX, com os conceitos de ecologia, as abordagens frente às árvores mudaram e seus benefícios ecossistêmicos passaram a ser reconhecidos. Passou-se a olhar as árvores de forma coletiva, entendendo que o agrupamento delas era mais benéfico em termos de serviços e funções ambientais.

Segundo Paiva e Gonçalves (2019), a forma com que o Barão de Haussmann posicionou as árvores, em uma organização linear e paralela às ruas e avenidas, com espaçamento regular, foi muito copiada e fundou a base do que se entende hoje como arborização urbana.

O termo arborização sempre foi utilizado para a ação ou para o resultado do plantio e da manutenção de árvores, individuais ou em pequenos grupos. É usado, há bastante tempo, em atividades de ruas, praças e outros espaços deste tipo, como canteiros e jardins, e guarda ainda uma significativa (e quase única) conotação com estas atividades. (MAGALHÃES, 2006, p. 25)

Entretanto, as árvores urbanas não podem ser reduzidas à arborização de acompanhamento viário e é preciso reconhecer que as árvores têm funções importantes no meio urbano, para além de uma função estética. Dessa forma, o conhecimento e a nomenclatura para falar das árvores que estão nas cidades passa por transformações e um dos debates atuais é uma mudança neste conceito. Se o termo arborização urbana remete ao plantio de espécimes

arbóreos, a proposta do conceito de florestas urbanas carrega um significado mais abrangente, de relações ecológicas e composto por outros elementos vegetais, além de árvores.

Árvores isoladas ou mesmo em pequenos grupos são bastante distintas de florestas. As florestas nas cidades estão em áreas maiores e contínuas e constituem ecossistemas característicos, com o estabelecimento de relações específicas com o solo, água, nutrientes, a fauna e outros componentes ambientais. As relações, funções e benefícios para as comunidades antrópicas presentes também são específicas, como áreas de lazer, parques ou unidades de conservação. (MAGALHÃES, 2006, p. 24)

Atualmente, diversas funções e serviços ecossistêmicos das árvores já são conhecidos:

Amenização climática pelo oferecimento de sombra e redução de temperatura; proteção de solos, principalmente os frágeis em relevos muito acidentados; contenção de enchentes pelo aumento da infiltração e redução do escoamento superficial são apenas alguns desses papéis. Entretanto, é muito fácil perceber que esses papéis, dificilmente, serão bem desenvolvidos por árvores individuais. [...] só um maciço considerável será capaz de promover modificações climáticas significativas para melhorar a qualidade de vida urbana. (PAIVA; GONÇALVES, 2019, p. 19)

Assim, sabendo das inúmeras vantagens de se integrar árvores aos espaços urbanos, é extremamente importante questionar o porquê de as cidades não possuírem mais espaços arborizados. Dentre as várias abordagens que se propõem a explicar o que é uma cidade, uma bem aceita atualmente é a do botânico Patrick Geddes, que defende que a cidade em si é um organismo, com um metabolismo e uma fisiologia própria. Nesse organismo, todos os seres vivos não-humanos que se integram à cidade são igualmente importantes aos seres humanos (MANCUSO, 2021). Dessa forma, todas as propostas e projetos para as cidades também precisam levar em consideração seus habitantes não-humanos:

É em decorrência de um processo de coevolução semelhante, no qual humanos, meio ambiente, construções, redes, plantas e animais se transformam, que as cidades podem se desenvolver e prosperar. (MANCUSO, 2021, p. 59)

Atualmente, alguns modelos urbanos e até os modelos de ficção futuristas, excluem a maior parte da natureza do espaço urbano. Porém, se os recursos necessários para a sobrevivência humana são em sua maior parte, recursos naturais, a separação entre cidade e natureza parece ser uma forma irracional para proporcionar qualidade de vida no lugar onde a maior parte da humanidade mora. Assim, “[...] como todo ser vivo, uma cidade tem necessidade constante de energia e de recursos para crescer [...]. Para manter o funcionamento desse ciclo, a presença de plantas dentro do organismo urbano é essencial.” (MANCUSO, 2021, p. 60)

A história das árvores urbanas e áreas verdes nas cidades indica como na maior parte das vezes, o planejamento urbano não priorizou os elementos naturais. Quando esses elementos eram incorporados no tecido urbano⁸, geralmente eram por aspectos produtivos ou estéticos.

⁸ “O tecido urbano pode ser descrito utilizando o conceito de ecossistema, unidade coerente constituída de uma ou de várias cidades, antigas ou recentes” (LEFEBVRE, 2001, p.19)

Ainda que nos tempos mais atuais a mentalidade urbana tenha se modificado, sobretudo com a influência dos movimentos ambientalistas e com a organização e luta da sociedade civil, e as áreas verdes tenham sido reconhecidas como importantes para a qualidade de vida da população e para o equilíbrio do ambiente, com a manutenção de funções ecológicas, a integração entre cidades e natureza é incipiente.

[...] em muitos centros urbanos, a porcentagem de cobertura arbórea é muito inferior a 10%. Um percentual dramaticamente baixo se considerarmos que a presença de plantas na cidade oferece inúmeras vantagens, qualquer que seja a área de atividade humana considerada. Mas, acima de tudo, é um fato totalmente incompatível com a necessidade de combater o aquecimento global, que, convém lembrar, continua sendo o maior perigo para o futuro da humanidade. (MANCUSO, 2021, p. 61)

Os motivos para aumentar a cobertura arbórea e as áreas verdes nas cidades são inúmeros e ganham uma força expressiva quando se inclui na equação, as origens e efeitos das mudanças climáticas em curso no planeta:

Se as cidades são vulneráveis ao aquecimento global, a boa notícia é que isso acontece onde o aquecimento global pode ser combatido com mais eficácia. Como 75% do dióxido de carbono humano é produzido nas cidades, lá ele deve ser bloqueado, usando as árvores para retirar a maior quantidade possível do CO₂ da atmosfera. (MANCUSO, 2021, p. 66)

Mancuso (2021) apresenta um estudo da Politécnica de Zurique que indica que o plantio em escala global de 1 trilhão de árvores seria a melhor forma de absorver o CO₂ emitido pela humanidade desde a Revolução Industrial, e assim colaborar no combate ao aquecimento global. O autor também indica que a eficiência das plantas em absorver o dióxido de carbono aumenta conforme a maior proximidade com a fonte onde esse carbono é produzido. Assim, a própria natureza oferece uma solução viável para auxiliar na redução da temperatura e é por isso que é possível e urgente, pensar em novos modelos de cidade, que incluam plantas. O autor defende que “[...] na cidade, todas as superfícies deveriam ser cobertas por plantas [...] literalmente todas as superfícies: telhados, fachadas, ruas; todo lugar onde é concebível colocar uma planta deve poder hospedar uma.” (MANCUSO, 2021, p. 67).

De acordo com o IPCC (2021a), cada tonelada de CO₂ emitido influencia o aumento de temperatura experienciado no planeta. Desta forma, qualquer possibilidade de reduzir ou absorver o dióxido de carbono é importantíssima e deve ser estudada como ferramenta de mitigação do aquecimento global.

Temos de mudar a nossa representação da cidade. A imagem de uma selva urbana não deve lembrar um lugar cheio de perigos, mas, ao contrário, uma parte do ambiente natural que, conscientemente e por meio das árvores, ajuda a transformar nossas cidades em um nicho ecológico duradouro. (MANCUSO, 2021, p. 70)

1.4. Futuro das cidades: a urgência de novos modelos

Estamos enfrentando, hoje, uma crise sistêmica sem precedentes desde que nossa espécie se desenvolveu e a civilização prosperou a partir da sua engenhosidade e da exploração de recursos naturais e humanos. A era que estamos vivendo é de transição e já é conhecida como Antropoceno pelas mudanças que causamos no planeta Terra, o nosso lar comum. As cidades têm um papel fundamental nesse momento, pois a urbanização predatória é uma consequência do progresso e do crescimento industrial. Elas, atualmente, são fontes de muitos dos maiores impactos causados ao nosso ecossistema planetário e, ao mesmo tempo, apresentam um enorme potencial para amenizar e mitigar as consequências de nossas ações, ou seja, a pegada ecológica da humanidade. (HERZOG, 2013, p. 24)

Se as cidades têm em seu modelo uma das origens da emissão dos gases de efeito estufa que provocam o aquecimento global e ao mesmo tempo, são ambientes que vão sofrer com os impactos gerados pelas mudanças climáticas, é urgente repensar o modelo urbano. De acordo com a revisão do IPCC, existem duas agendas de ações importantes e que devem ser perseguidas de forma simultânea no que diz respeito ao enfrentamento das mudanças climáticas: a mitigação e a adaptação. Esses dois conceitos podem ser aplicados tanto nos espaços urbanos, quanto nos ecossistemas naturais.

A mitigação tem como objetivo reduzir a emissão dos Gases de Efeito Estufa – GEE e pode ser realizada através de ações como a eletrificação da frota veicular, interrupção da queima de combustíveis fósseis, uso de formas mais limpas de energia, redução do desmatamento, reflorestamento de áreas degradadas, entre outros. A mitigação vem no sentido de auxiliar na meta de limitar o aquecimento global em 1,5°C e necessita de ações rápidas, profundas e consistentes. De acordo com o IPCC:

As áreas urbanas podem criar oportunidades para aumentar a eficiência dos recursos e reduzir significativamente as emissões de GEE por meio da transição sistêmica da infraestrutura e da forma urbana, com o desenvolvimento de vias de baixa emissão de carbono e com o objetivo de chegar a zero emissões de carbono líquido. Esforços ambiciosos de mitigação para cidades consolidadas, em rápido crescimento e emergentes abrangerão 1) redução ou alteração do consumo de energia e materiais, 2) eletrificação, e 3) aumento da absorção e do armazenamento de carbono no ambiente urbano. As cidades podem atingir emissões líquidas zero, mas somente se as emissões forem reduzidas dentro e fora de seus limites administrativos por meio de cadeias de suprimentos, o que terá efeitos benéficos em cascata em outros setores. (IPCC, 2022b, p. 40 - tradução livre)⁹

⁹ *Urban areas can create opportunities to increase resource efficiency and significantly reduce GHG emissions through the systemic transition of infrastructure and urban form through low-emission development pathways towards net-zero emissions. Ambitious mitigation efforts for established, rapidly growing and emerging cities will encompass 1) reducing or changing energy and material consumption, 2) electrification, and 3) enhancing carbon uptake and storage in the urban environment. Cities can achieve net-zero emissions, but only if emissions are reduced within and outside of their administrative boundaries through supply chains, which will have beneficial cascading effects across other sectors. (IPCC, 2022b, p. 40)*

Já a adaptação, diz respeito às ações implementadas para responder aos efeitos das mudanças climáticas já em curso no planeta, minimizando os impactos para as pessoas, cidades e ecossistemas naturais:

A adaptação, em resposta às mudanças climáticas atuais, está reduzindo os riscos e a vulnerabilidade do clima principalmente por meio do ajuste dos sistemas existentes. Muitas opções de adaptação existem e são usadas para ajudar a gerenciar os impactos projetados das mudanças climáticas, mas sua implementação depende da capacidade e eficácia da governança e dos processos de tomada de decisão. Estas e outras condições favoráveis também podem apoiar o desenvolvimento resiliente ao clima. (IPCC, 2022a, p. 20 - tradução livre)¹⁰

Existem duas formas distintas de se pensar a adaptação: 1) adaptação incremental, que tem o intuito de reduzir riscos e desastres pontuais; 2) adaptação transformativa, que diz respeito ao todo e à construção de uma condição sistêmica de resiliência. A revisão do IPCC encontrou mais esforços em adaptações incrementais e de grandes estruturas para prevenir impactos, sobretudo relacionadas ao manejo de águas, como prevenção de enchentes através de obras da engenharia civil (também conhecida por infraestrutura cinza) (AGÊNCIA FAPESP, 2022).

Uma novidade do relatório é o conceito de adaptação baseada em ecossistemas, que são estratégias focadas no aumento da resiliência das populações humanas baseadas nos serviços ambientais e que podem se combinar com soluções da engenharia tradicional, criando soluções híbridas (IPCC, 2022a).

O conceito de adaptação também está relacionado à construção de sistemas mais resilientes. De acordo com a conceituação do Grupo de Trabalho II do IPCC, resiliência é a capacidade de um sistema (ecológico, social, econômico, urbano) responder a um distúrbio ou impacto mantendo a sua função, identidade e estruturas essenciais. Assim, em alguns casos a resiliência pode ser vista característica positiva e desejada para pensar em cidades adaptadas frente às mudanças climáticas.

No webinar produzido pela Agência FAPESP (2022), a pesquisadora Maria Silva Muylaert explica que:

Adaptação em cidades e outras áreas urbanas, onde a maioria da população mundial vive, dependerão em grande parte da resiliência das estruturas naturais, sociais e físicas. O investimento financeiro atual é principalmente direcionado para engenharia pesada de projetos como muros de contenção e há muito menos investimento para assentamentos informais que abrigam os moradores urbanos mais vulneráveis.

¹⁰ *Adaptation, in response to current climate change, is reducing climate risks and vulnerability mostly via adjustment of existing systems. Many adaptation options exist and are used to help manage projected climate change impacts, but their implementation depends upon the capacity and effectiveness of governance and decision-making processes. These and other enabling conditions can also support Climate Resilient Development.* (IPCC, 2022a, p. 20)

Agricultura urbana, recuperação de rios e outras AbE– Adaptações baseadas em Ecossistemas – estão sendo pesquisadas. (AGÊNCIA FAPESP, 2022)

De acordo com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OECD (2022), as cidades resilientes são aquelas que conseguem absorver, se recuperar e se preparar para impactos, promovendo o desenvolvimento sustentável. A resiliência de uma cidade está relacionada com a resiliência de seus sistemas, ou seja, ter infraestruturas que respondem bem a desastres e riscos climáticos (MCR2030, 2022). Segundo Herzog (2013), o grau de resiliência de um sistema é dado conforme a sua resposta à perturbação e para a resiliência ser efetiva, é importante que o sistema seja redundante, ou seja, tenha diversas alternativas para se manter funcionando.

No caso de cidades, é vital pensar de forma sistêmica e resiliente, para que sejam sustentáveis ao longo do tempo, adotando o “Princípio da precaução” em planos adaptativos de longo prazo. Os projetos devem ser multifuncionais, oferecer redundâncias – sempre que falhar uma alternativa, deve haver outra, para manter o sistema urbano funcionando com a manutenção de suas interconexões socioecológicas em diversas escalas. (HERZOG, 2013, p. 81)

Já existem algumas propostas que integram o contexto urbano à natureza e podem ser boas ferramentas para trazer resiliência às cidades, tais como as Soluções baseadas na Natureza (SbN) e a Infraestrutura Verde:

As SbN são estratégias tecnológicas projetuais que se baseiam na introdução de biodiversidade para regenerar funções ecológicas nas paisagens urbanas. [...] As soluções baseadas na natureza são inspiradas e mantidas pela natureza, regeneram processos e fluxos naturais em diversas escalas. [...] Soluções baseadas na natureza têm sido desenvolvidas, implementadas, testadas, monitoradas em diversas cidades do mundo, contribuindo para a adaptação às mudanças climáticas ao aumentar a resiliência do sistema urbano frente aos episódios climáticos cada vez mais intensos e frequentes. (HERZOG, 2021, p. 209 e 210)

Por sua vez, a infraestrutura verde pode ser caracterizada como:

[...] uma rede ecológica urbana que reestrutura a paisagem, mimetiza os processos naturais de modo a manter ou restaurar as funções do ecossistema urbano, oferecendo serviços ecossistêmicos no local. Alguns desses serviços são: redução das emissões de GEE; prevenção de enchentes e deslizamentos, amenização das ilhas de calor; redução no consumo de energia; produção de alimentos; melhoria da saúde física, mental e espiritual das pessoas; aumento e melhoria da biodiversidade nativa, dentre inúmeros outros. Esse tipo de infraestrutura tem como meta tornar os ambientes urbanos mais sustentáveis e resilientes por meio da interação cotidiana das pessoas com a natureza em espaços onde ambas tenham total prioridade. (HERZOG, 2013, p. 111)

O relatório do IPCC (2022a) indica que o planejamento de infraestruturas urbanas sustentáveis inclui coberturas e fachadas verdes, redes de conexão entre parques e áreas livres,

manutenção das florestas urbanas e *wetlands*¹¹, *water sensitive design*¹² e agricultura urbana. Todas essas ações conseguem criar ao mesmo tempo, condições de mitigação e de adaptação, além de colaborar na melhora da qualidade dos espaços urbanos, uma vez que reduzem riscos de inundação, diminuem os efeitos das ilhas de calor e reduzem a poluição do ar. (AGÊNCIA FAPESP, 2022)

Essas novas propostas para as cidades se relacionam à criação e inserção de elementos naturais no tecido urbano de forma a aumentar a quantidade de serviços ambientais oferecidos nas cidades. Produzido pela Organização das Nações Unidas (ONU), o relatório *Millennium Ecosystem Assessment* divide estes serviços em quatro tipos: 1) regulação, 2) abastecimento, 3) suporte e 4) culturais.

Serviços regulatórios servem para manter os sistemas em equilíbrio, a fim de resistir às mudanças climáticas e às doenças. [...] Já os serviços de abastecimento se relacionam à produção de alimentos, ao fornecimento de água e a outros insumos básicos para a vida. Apresenta-se aqui, nesse sentido, a floresta urbana como parte de uma variedade de áreas produtivas, incluindo a arborização viária em áreas de proteção a mananciais, rios e córregos. Os serviços de suporte incluem a reciclagem de nutrientes e a polinização de culturas, aspectos essenciais para a conservação das funções dos ecossistemas, uma das funções de uma infraestrutura verde. [...] Por fim, os serviços culturais incluem atividades recreativas, meios de circulação e de fruição da paisagem, como outra das funções que se pode atribuir a esse tipo de rede de paisagens. (PELLEGRINO, 2017, p. xiii-xiv)

A cobertura arbórea urbana é um tipo de infraestrutura verde bastante completa, capaz de fornecer direta e indiretamente serviços ecossistêmicos dentro dessas quatro categorias, se mostrando uma ferramenta importante para colaborar com a transformação das cidades. Dessa forma, a proposta deste trabalho é investigar quais as possibilidades da cobertura arbórea urbana na mitigação do aquecimento global e criação de cidades mais adaptadas e resilientes frente às mudanças climáticas, sobretudo, se inseridas em redes de Infraestrutura Verde e em Soluções baseadas na Natureza.

1.5. Apontamentos do IPCC sobre a relação entre florestas urbanas e mudanças climáticas

Os relatórios do IPCC foram utilizados para entender quais são as palavras e expressões mais usadas na língua inglesa para tratar do tema das mudanças climáticas associadas às florestas urbanas. Estes relatórios são divididos em capítulos, onde a discussão é aprofundada com mais detalhes. Por conta do tamanho dos relatórios publicados, foi necessária a escolha de

¹¹ *Wetlands*, ou alagados construídos são: “áreas alagadas que recebem as águas pluviais e promovem a retenção e a remoção de contaminantes.” (HERZOG, 2013, p. 158)

¹² *Water Sensitive Design*, também conhecido pela sigla WSUD, é um conceito de planejamento e desenho urbano baseado no manejo sustentável da água.

capítulos que estivessem mais relacionados ao tema do presente trabalho para análise de palavras e expressões.

Dessa forma, para o relatório do Grupo II: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade, foi escolhido o Capítulo 6: Cidades, assentamentos e infraestrutura chave¹³ para verificação e leitura. Já para o Grupo III: Mitigação da Mudança Climática, foi escolhido o Capítulo 8: Sistemas urbanos e outros assentamentos¹⁴. O Grupo de Trabalho I não foi incluído nesta parte, por tratar da ciência física do clima.

A análise desses capítulos mostrou que as árvores urbanas aparecem com diferentes nomes na língua inglesa, como: *urban forests*, *urban trees*, *street trees* e *urban forestry*. Após a identificação dessas expressões, foi feita uma busca por essas palavras para verificar quantas vezes elas apareciam nos capítulos analisados, o que resultou no seguinte quadro:

Quadro 1 - Expressões relativas às árvores urbanas encontradas nos relatórios do IPCC (2021b, 2021c)

GRUPO 2 - Impacts, Adaptation and Vulnerability		GRUPO 3 - Mitigation of Climate Change	
Chapter 6 - Cities, settlements and key infrastructure		Chapter 8 - Urban systems and other settlements	
Busca por:	Quantidade de resultados:	Busca por:	Quantidade de resultados:
urban forest(s)	18	urban forest(s)	20
urban tree(s)	11	urban tree(s)	18
street tree(s)	6	street tree(s)	8
urban forestry	8	urban forestry	1

A partir disso foi feita a leitura de todos os parágrafos onde essas expressões ocorrem, a fim de obter um panorama de como o assunto foi tratado pelos pesquisadores do IPCC e ao final deste trabalho, fazer uma comparação entre os resultados destes relatórios e os obtidos pela revisão sistemática realizada.

Em relação à adaptação, a leitura e verificação do relatório do Grupo II indica, com evidências robustas e alta concordância, que ecossistemas equilibrados podem desempenhar

¹³ *Chapter 6 - Cities, settlements and key infrastructure* - Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_Chapter06.pdf . Acesso em: 04 ago. 2022

¹⁴ *Chapter 8 - Urban systems and other settlements* - Disponível em: https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_Chapter08.pdf . Acesso em: 05 ago. 2022

um papel significativo na proteção de cidades e assentamentos contra riscos climáticos, na forma de infraestrutura verde e azul em diversas escalas.

As SbN podem proteger e recuperar ecossistemas naturais ou modificados, criando condições de adaptação. Dentro da ampla gama de tipologias de SbN, florestas urbanas, parques e arborização de acompanhamento viário são documentadas como fontes de resfriamento local. Já SbN como bacias hidrográficas florestadas e margens vegetadas podem aumentar a proteção contra enchentes e secas. Também com evidências robustas e alta concordância, o IPCC (2021b) indica que parques, áreas livres, florestas urbanas, arborização de acompanhamento viário e coberturas verdes colaboram na redução do escoamento superficial, na retenção de águas pluviais e conseqüentemente, na redução de enchentes.

É na gestão da água urbana que o papel das SbN tem sido mais reconhecido, indicando sua potência na construção de um desenvolvimento urbano sustentável e adaptado às mudanças climáticas. As SbN que protegem ou restauram a capacidade de infiltração natural de uma bacia hidrográfica podem aumentar o serviço de abastecimento de água e proporcionar maior proteção contra secas. As SbN assumem diversas tipologias (florestas urbanas, parques e espaços livres, jardins de chuvas, biovaletas, lagoas de retenção, entre outros), que contribuem de maneiras diferentes para aumentar a infiltração de águas pluviais.

Com evidências robustas e alta concordância, o Grupo II relata que as SbN, incluindo florestas urbanas, coberturas verdes, paredes verdes e outras formas de vegetação urbana, podem reduzir o calor, resfriando espaços através do sombreamento direto e da evapotranspiração. Além de reduzir a temperatura, as SbN também contribuem na redução de custos de energia, reduzindo o uso de formas convencionais de refrigeração, como ar-condicionado. Porém, o efeito de resfriamento pela vegetação depende de uma série de fatores, como o contexto climático regional, aspectos geográficos da cidade, da densidade e localização das árvores e do manejo adequado. Para otimizar os benefícios de adaptação das SbN na regulação do calor urbano, é interessante priorizar o plantio de árvores e o manejo da arborização urbana em áreas onde a vulnerabilidade e o risco ao calor são mais altos, especialmente nas comunidades com menos acesso às áreas verdes.

Apesar do crescente conhecimento sobre SbN, estudos recentes apontam que as soluções baseadas na natureza para adaptação e resiliência ainda tem pouco reconhecimento e investimento no planejamento e desenvolvimento urbano.

Em relação à vulnerabilidade, geralmente as SbN e infraestruturas verdes são apresentadas como estratégias para reduzir impactos climáticos no espaço urbano, porém são

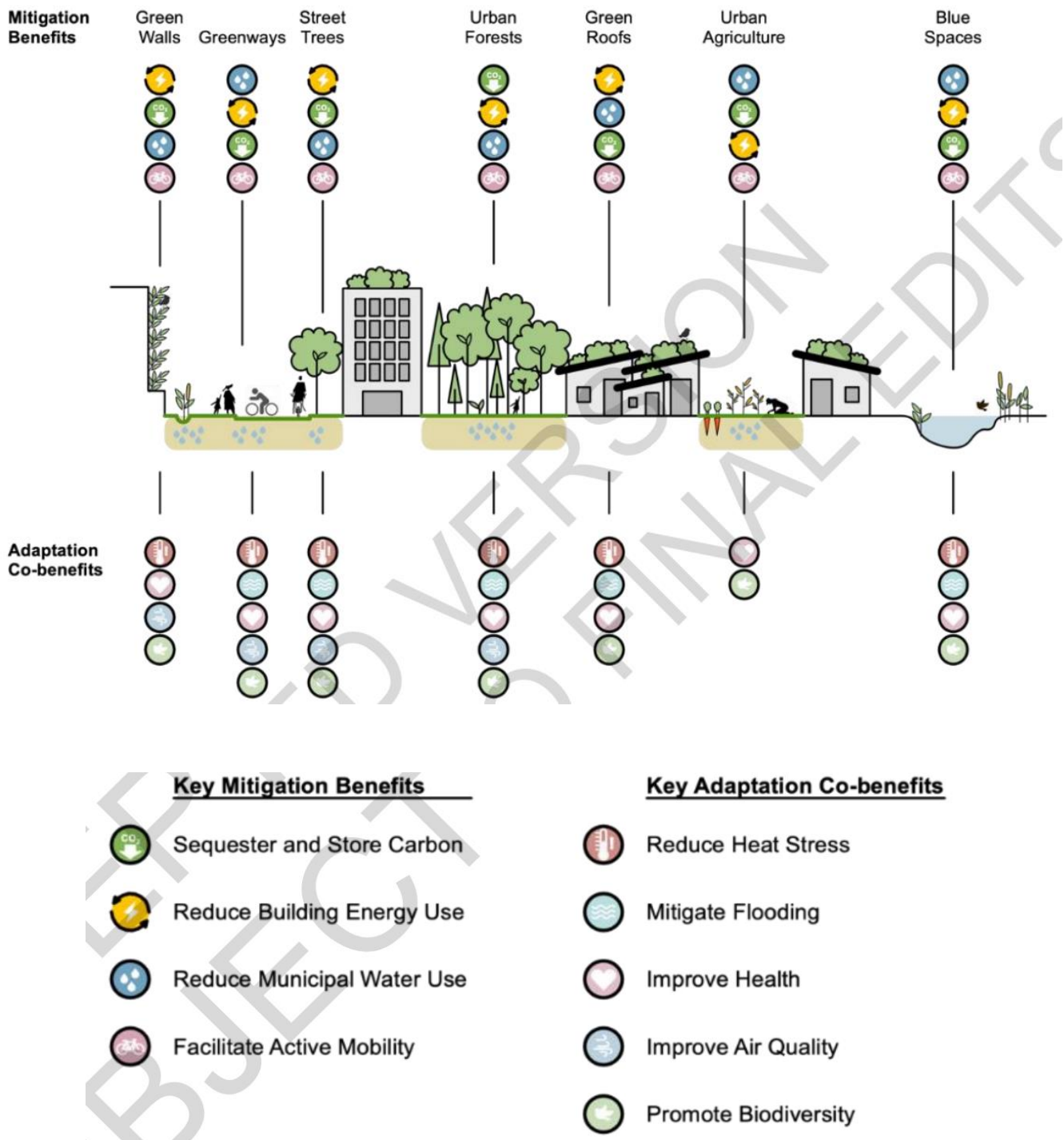
indicadas lacunas sobre o risco que árvores e florestas urbanas têm de também sofrerem os efeitos das mudanças climáticas. As pesquisas existentes nesta área apontam os efeitos diretos de temperaturas extremas, aumento da intensidade da precipitação, eventos de vento e aumento do nível do mar. Estudos analisados pelo Grupo II indicaram que o aumento da temperatura e a escassez hídrica pode deixar as árvores mais suscetíveis à ataques de pragas e doenças. Outros efeitos também podem interferir na sobrevivência das árvores urbanas, como a poluição do ar, maior frequência de incêndios, inclusive facilitando a estabilização de espécies invasoras e aumentando a possibilidade de pragas e doenças.

Infraestruturas verdes e azuis urbanas são categorias de SbN e funcionam como medidas de mitigação climática e de adaptação. Essas infraestruturas englobam um amplo leque de tipologias, como arborização de acompanhamento viário, parques, coberturas e painéis verdes, florestas urbanas, entre outros. No que diz respeito à mitigação das mudanças climáticas, o Grupo III indica, com evidências robustas e alta concordância, que infraestruturas verde e azul podem mitigar as mudanças climáticas por meio do sequestro e armazenamento de carbono. As florestas urbanas e árvores nas ruas, inclusas na categoria de infraestruturas verdes, também colaboram na mitigação através da redução de emissões provocadas pelo seu efeito de resfriamento, que reduz a demanda de energia.

O armazenamento e o sequestro de carbono das árvores urbanas são dependentes do bioma em que se encontram e de diversos fatores, mas o Grupo III verificou que o conjunto das árvores urbanas do mundo armazenam em torno de 7,4 bilhões de toneladas de carbono e sequestram aproximadamente 217 milhões de toneladas de carbono anualmente. Levando em consideração os espaços urbanos globais que ainda admitem o plantio de árvores (ou seja, áreas permeáveis e que não estejam plantadas), os autores indicam que o armazenamento de carbono poderia triplicar se todos esses espaços fossem transformados em florestas urbanas.

Para ilustrar as maneiras que diferentes tipos de infraestruturas verdes e azuis podem colaborar na mitigação e na adaptação, os pesquisadores do IPCC elaboraram a Figura 5. Nela, é possível verificar que as florestas urbanas e árvores das ruas proporcionam o maior benefício de mitigação devido à sua capacidade de sequestrar e armazenar carbono, reduzindo simultaneamente a demanda de energia do edifício.


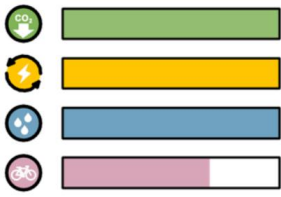






Figura 5 – Tipologias de infraestrutura verde e azul e seus respectivos benefícios para a mitigação e adaptação.



Observações: “As avaliações dos benefícios de mitigação dependem do contexto, escala e disposição espacial de cada tipo de infraestrutura verde e azul e sua proximidade com os edifícios.” (IPCC, 2021c, p.64 - tradução livre)

Fonte: IPCC, 2021c, p.64

Figura 6 – Benefícios de mitigação e co-benefícios de adaptação para diferentes tipologias de infraestrutura verde e azul. Em destaque na imagem, a tipologia de Florestas Urbanas e Arborização de Acompanhamento Viário.

	Urban Green and Blue Infrastructure	Mitigation Benefits	Adaptation Co-benefits	SDG Linkages
Urban Forests				
Street Trees				

Observações: “Os tamanhos nas barras são ilustrativos e seu tamanho relativo é baseado no melhor entendimento e avaliação da literatura dos autores” (IPCC, 2021c, p.66 - tradução livre)

Fonte: IPCC, 2021c, p.65

Características físicas das árvores urbanas e do formato do plantio, como estrutura, composição e condições de crescimento, influenciam sua capacidade em mitigar as mudanças climáticas. Entretanto, o Grupo III ressalta que as áreas naturais urbanas, como remanescentes florestais, têm benefícios únicos, pois fornecem habitat para plantas e animais nativos, protegendo a biodiversidade local dentro de uma paisagem fragmentada. Remanescentes florestais também podem ter um maior efeito resfriador nas cidades do que os espaços verdes projetados.

É importante mencionar que o Grupo III verificou que em certos casos, a vegetação urbana, os solos e os sistemas aquáticos podem, em vez de sequestrar carbono, virar uma fonte de emissão, sobretudo se forem muito alterados ou estiverem em desequilíbrio. Este capítulo também indica a necessidade de mais estudos sobre densidades de carbono para o hemisfério sul, de forma a contribuir com melhores estimativas do potencial de armazenamento pelas árvores urbanas.

Avaliando todas as possibilidades de mitigação das mudanças climáticas, os pesquisadores do IPCC indicam a existência de outras ações relevantes para a redução das emissões dos gases de efeito estufa no contexto urbano e orientam que as cidades implementem essas estratégias de forma integrada (IPCC, 2021c):

1. Reduzir o consumo de energia em todos os setores, inclusive por meio de planejamento espacial e infraestrutura que possibilitem a existência de cidades mais compactas e que estimulem locomoções via caminhada;
2. Descarbonizar sistemas de energia por meio da eletrificação e usar recursos que não emitam carbono (infraestrutura de baixo carbono);
3. Aumentar o sequestro de carbono através da implementação de infraestruturas verdes e azuis, que além do potencial de mitigação, oferecem benefícios no sentido da adaptação.

Dessa forma, as cidades devem focar em reduzir suas emissões de carbono através de melhoras no transporte público, estimulando o caminhar e uso de transportes de zero emissão, focar no adensamento das edificações e evitar o espraiamento do tecido urbano. Para as cidades que já tem formas consolidadas e conseqüentemente, terão mais dificuldades de se tornarem compactas e densas, as opções de mitigação baseadas no uso de infraestrutura verde e azul são imprescindíveis para compensar as emissões residuais (IPCC, 2021c).

3. MÉTODO

Para investigar as possibilidades das árvores urbanas na mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas, optou-se por fazer uma revisão, o que possibilita levantar como este tema de pesquisa vem sendo tratado globalmente.

O delineamento utilizado foi o de revisão sistemática de revisões. As revisões sistemáticas “são um tipo de revisão de literatura que procuram responder a uma pergunta de pesquisa específica através da coleta de evidências empíricas que atendam a critérios de elegibilidade pré-determinados” (KEINER, 2020, p.208), buscando minimizar o viés dos resultados a partir da elaboração de um método sistemático e replicável (KEINER, 2020).

A escolha de elaborar uma revisão de revisões, se deu pela necessidade de consultar fontes já sintetizadas. Segundo a indicação da Cochrane (2022), as revisões de revisões sintetizam informações de várias revisões sistemáticas sobre as questões relacionadas ao tema de pesquisa.

Para iniciar a busca de revisões, foram definidos os seguintes critérios de elegibilidade:

- **Tipos de estudos.** Foram elegíveis para a análise artigos de revisões, sistemáticas ou não.
- **Idiomas.** As pesquisas elegíveis foram aquelas escritas em português ou inglês, por serem os idiomas dominados pela autora.
- **Anos considerados.** Sem limite de data.

Após a definição dos critérios, os métodos de busca foram determinados:

- **Plataformas de buscas.** Foram utilizadas duas plataformas de busca, a *Web of Science* e a *Science Direct* via *Elsevier*. Ambas foram acessadas através do Periódicos Capes.
- **Estabelecimento de palavras chaves.** Os dois objetivos específicos do trabalho foram utilizados para gerar os descritores e termos de busca. Para definição dos termos foram usados como base os relatórios do Grupo de Trabalho 2 e 3 do IPCC (IPCC, 2022a; IPCC, 2022b), de modo a conseguir as expressões mais utilizadas dentro da literatura científica para tratar do tema, apresentados a seguir:

Quadro 2 – Definição de palavras chaves e expressões para busca

TEMA	PALAVRAS CHAVES E TERMOS DE BUSCA
ARBORIZAÇÃO URBANA	<i>urban forest</i> <i>urban forestry</i> <i>urban trees</i> <i>street trees</i>

MITIGAÇÃO DO AQUECIMENTO GLOBAL	<i>mitigation global warming climate change carbon GHG greenhouse gas(es)</i>
CIDADES RESILIENTES E ADAPTADAS	<i>adaptation urban adaptation nature based solutions sustainable development resilience resilient cities</i>

A busca pelas referências foi realizada em duas etapas, de acordo com os objetivos específicos do trabalho:

- Objetivo/etapa 1: Buscar pesquisas relacionadas à mitigação do aquecimento global e mudanças climáticas;
- Objetivo/etapa 2: Buscar pesquisas relacionadas à resiliência e adaptação que as árvores podem oferecer para o espaço urbano frente aos efeitos das mudanças climáticas.

O cruzamento dos termos nas plataformas de busca foi realizado de modo que a pesquisa, para ser selecionada, tivesse ao menos um termo de cada objetivo específico no título, no resumo ou nas palavras chaves, associada aos termos relacionados à arborização urbana.

Etapa 1:

A primeira busca foi realizada no dia 19/04/22, às 18h, na plataforma *Science Direct* via Elsevier. A plataforma só aceita 8 operadores booleanos, dessa forma a busca foi dividida em duas partes:

- 1- (*“urban forest” OR “urban forestry” OR “urban trees” OR “street trees”*) AND (*mitigation OR “global warming” OR “climate change” OR carbon*)
- 2- (*“urban forest” OR “urban forestry” OR “urban trees” OR “street trees”*) AND (*“GHG” OR “greenhouse gas”*)

A busca foi realizada de forma a selecionar que os termos estivessem no 1) título ou 2) introdução ou 3) palavras-chaves e os resultados foram filtrados para mostrar apenas artigos de revisão. Os filtros do *Science Direct* permitem a seleção dos jornais onde os artigos foram publicados. Os jornais da Elsevier estão divididos em temas. Dessa forma, foram selecionados os seguintes temas:

- *Urban Forestry & Urban Greening (7)*

- *Environmental Pollution (3)*
- *Journal of Environmental Management (3)*
- *Trends in Plant Science (1)*
- *Forest Ecology and Management (1)*
- *Atmospheric Environment (1)*
- *Science of The Total Environment (1)*
- *Landscape and Urban Planning (1)*
- *Sustainable Cities and Society (1)*
- *Urban Climate (1)*

A primeira busca resultou em 20 artigos, que foram inseridos no Quadro 3, para auxílio da triagem.

A segunda busca foi realizada no dia 22/04/22, às 11h, na plataforma *Web of Science*. Como esta base de dados não tem restrição de quantidade de termos e operadores booleanos, a busca foi realizada através da expressão: (“*urban forest*” OR “*urban forestry*” OR “*urban trees*” OR “*street trees*”) AND (*mitigation* OR “*global warming*” OR “*climate change*” OR *carbon* OR “*GHG*” OR “*greenhouse gases*”)

A plataforma permite a realização da busca com o filtro Tópico ativado, de forma a selecionar trabalhos em que os termos estivessem no 1) título ou 2) introdução ou 3) palavras-chaves. A busca foi filtrada para mostrar apenas artigos de revisão, resultando em 58 artigos, organizados no Quadro 4.

Etapa 2:

A terceira busca foi realizada no dia 05/05/22, às 20h, na plataforma *Science Direct* via Elsevier. A plataforma só aceita 8 operadores booleanos, dessa forma a busca foi dividida em duas partes:

- 1- (“*urban forest*” OR “*urban forestry*” OR “*urban trees*” OR “*street trees*”) AND (*adaptation* OR “*urban adaptation*” OR “*nature based solutions*” OR “*sustainable development*”)
- 2- (“*urban forest*” OR “*urban forestry*” OR “*urban trees*” OR “*street trees*”) AND (*resilience* OR “*resilient cities*”)

A busca foi realizada de forma a selecionar que os termos estivessem no 1) título ou 2) introdução ou 3) palavras-chaves e os resultados foram filtrados para mostrar apenas artigos de

revisão. Os filtros do *Science Direct* permitem a seleção dos jornais onde os artigos foram publicados, mas desta vez todos os temas eram pertinentes ao tema e foram selecionados, sendo:

- *Landscape and Urban Planning* (3)
- *Journal of Environmental Management* (1)
- *Urban Forestry & Urban Greening* (9)
- *Sustainable Cities and Society* (2)
- *Trends in Plant Science* (1)
- *Plant Science* (1)
- *Global and Planetary Change* (1)
- *Scientific African* (1)

A terceira busca resultou em 18 artigos, que foram inseridos no Quadro 5, para auxílio da triagem.

A quarta busca foi realizada no dia 07/05/22, às 9h30, na plataforma *Web of Science*. Como esta base de dados não tem restrição de quantidade de termos e operadores booleanos, a busca foi realizada através da frase: (“*urban forest*” OR “*urban forestry*” OR “*urban trees*” OR “*street trees*”) AND (*adaptation* OR “*urban adaptation*” OR “*nature based solutions*” OR “*sustainable development*” OR *resilience* OR “*resilient cities*”)

A plataforma permite a realização da busca com o filtro Tópico ativado, de forma a selecionar trabalhos em que os termos estivessem no 1) título ou 2) introdução ou 3) palavras-chaves. A busca foi filtrada para mostrar apenas artigos de revisão, resultando em 33 artigos, organizados no Quadro 6.

De todos os artigos retornados nas buscas, a autora selecionou para leitura completa aqueles que indicassem ou no título ou no resumo uma relação entre a arborização urbana e a 1) mitigação das mudanças climáticas ou 2) adaptação e resiliência das cidades frente às mudanças climáticas. A relação indicada deveria ser expressa entre variável dependente (VD) e independente (VI), sendo VI a arborização urbana e VD a mitigação do clima ou adaptação e resiliência.

Os artigos duplicados entre as bases de dados ou entre as etapas de busca foram excluídos. Assim, 21 estudos se demonstraram elegíveis para a leitura na íntegra, conforme indicado no Quadro 7.

Quadro 3 - Objetivo 1: busca sobre mitigação base de dados Science direct via Elsevier

CARACTERÍSTICAS		CRITÉRIOS DE TRIAGEM (A PARTIR DA LEITURA DO TÍTULO, RESUMO E PALAVRAS-CHAVE)				CRITÉRIOS DE SELEÇÃO
Temas	Títulos das referências rastreadas	Menciona árvores urbanas?	Menciona mitigação do aquecimento global e relacionados (ex: diminuição dos gases de efeito estufa, absorção de CO ₂ etc.)?	Menciona adaptação e resiliência frente às mudanças climáticas nos espaços urbanos?	Duplicado	Menciona estudos que tenham como VI arborização urbana e VD mitigação e/ou adaptação?
Urban Climate	A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO ₂ emissions	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	SIM
Urban Forestry & Urban Greening	A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	SIM
Environmental Pollution	A systematic review of the leaf traits considered to contribute to removal of airborne particulate matter pollution in urban areas	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Atmospheric Environment	Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Science of The Total Environment	Air pollution monitoring and tree and forest decline in East Asia: A review	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Sustainable Cities and Society	Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications–A review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Forest Ecology and Management	Contribution of large-scale forest inventories to biodiversity assessment and monitoring	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Journal of Environmental Management	Elevation in wildfire frequencies with respect to the climate change	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Urban Forestry & Urban Greening	Exploring global scientific discourses on urban forestry	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	SIM
Urban Forestry & Urban Greening	Fengshui forests and village landscapes in China: Geographic extent, socioecological significance, and conservation prospects	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Landscape and Urban Planning	Linking above-ground biomass and biodiversity to stand development in	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO

	urban forest areas: A case study in Northern Italy					
Journal of Environmental Management	Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	SIM
Urban Forestry & Urban Greening	Reprint of: Review on urban tree modelling in CFD simulations: Aerodynamic, deposition and thermal effects	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	NÃO
Urban Forestry & Urban Greening	Review on urban tree modelling in CFD simulations: Aerodynamic, deposition and thermal effects	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Environmental Pollution	Should we see urban trees as effective solutions to reduce increasing ozone levels in cities?	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Urban Forestry & Urban Greening	The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	SIM
Urban Forestry & Urban Greening	The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A review and suggestions for future research	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	SIM
Journal of Environmental Management	The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Environmental Pollution	Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	SIM
Trends in Plant Science	Urban plant physiology: adaptation-mitigation strategies under permanent stress	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO

Quadro 4 - Objetivo 1: busca sobre mitigação base de dados *Web of Science*

OBJETIVO 1 - BUSCA NA BASE DE DADOS WEB OF SCIENCE					
CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIOS DE TRIAGEM (A PARTIR DA LEITURA DO TÍTULO, RESUMO E PALAVRAS-CHAVE)				CRITÉRIOS DE SELEÇÃO
Títulos das referências rastreadas	Menciona árvores urbanas?	Menciona mitigação do aquecimento global e relacionados (ex: diminuição dos gases de efeito estufa, absorção de co2 etc.)?	Menciona adaptação e resiliência frente às mudanças climáticas nos espaços urbanos?	Duplicada (apareceu nos resultados da Elsevier)	Menciona estudos que tenham como VI arborização urbana e VD mitigação e/ou adaptação?
The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A review and suggestions for future research	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	SIM
The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	NÃO
Three Decades of Urban Forest and Green Space Research and Practice in Croatia and Slovenia	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Towards an integrated research approach for urban forestry: The case of China	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Trees in Canadian Cities: Indispensable Life Form for Urban Sustainability	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Urban afforestation and its ecosystem balance contribution: a bibliometric review	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	SIM
Urban forests, air quality and health: a systematic review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Urban plant physiology: adaptation-mitigation strategies under permanent stress	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	NÃO
vv Social-ecological and technological factors moderate the value of urban nature	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO

Quadro 5 - Objetivo 2: busca sobre adaptação na base de dados *Science Direct Via Elsevier*

OBJETIVO 2 - BUSCA NA BASE DE DADOS SCIENCE DIRECT DA ELSEVIER						
CARACTERÍSTICA	CRITÉRIOS DE TRIAGEM (A PARTIR DA LEITURA DO TÍTULO,					CRITÉRIOS DE
Títulos das referências rastreadas	Menciona árvores urbanas?	Menciona mitigação do aquecimento global e relacionados (ex: diminuição dos gases de efeito estufa, absorção de co2 etc.)?	Menciona adaptação e resiliência frente às mudanças climáticas nos espaços urbanos?	Duplicado com web of Science?	Duplicado com fase 1?	Menciona estudos que tenham como vi arborização urbana e VD mitigação e/ou adaptação frente ao tema das mudanças climáticas?
A 'green' chameleon: Exploring the many disciplinary definitions, goals, and forms of "green infrastructure"	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
A review of the concept 'management' in relation to urban landscapes and green spaces: Toward a holistic understanding	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Developing a certification system for urban forests in the United States	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Ecosystem-based management revisited: Updating the concepts for urban forests	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Greening cities through urban planning: A literature review on the uptake of concepts and methods in Stockholm	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Trends in Urban Forestry Research in Latin America & The Caribbean: A Systematic Literature Review and Synthesis	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Urban forest governance and decision-making: A systematic review and synthesis of the perspectives of municipal managers	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Urban forest research in the Mediterranean: A systematic review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors?	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO

Urban green infrastructure in Nigeria: A review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Wildfires in Chile: A review	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Artificial intelligence in urban forestry—A systematic review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	NÃO
Elevation in wildfire frequencies with respect to the climate change	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	NÃO
Exploring global scientific discourses on urban forestry	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	SIM
Smarter ecosystems for smarter cities? A review of trends, technologies, and turning points for smart urban forestry	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	NÃO
The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A review and suggestions for future research	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	SIM
Urban plant physiology: adaptation-mitigation strategies under permanent stress	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	NÃO

Quadro 6 - Objetivo 2: busca sobre adaptação na base de dados *Web of Science*

OBJETIVO 2 - BUSCA NA BASE DE DADOS WEB OF SCIENCE						
CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIOS DE TRIAGEM (A PARTIR DA LEITURA DO TÍTULO, RESUMO E PALAVRAS-CHAVE)					CRITÉRIOS DE SELEÇÃO
Títulos das referências rastreadas	Menciona árvores urbanas?	Menciona mitigação do aquecimento global e relacionados (ex: diminuição dos gases de efeito estufa, absorção de co2 etc.)?	Menciona adaptação e resiliência frente às mudanças climáticas nos espaços urbanos?	Duplicado com Science direct?	Duplicado com fase 1?	Menciona estudos que tenham como VI arborização urbana e VD mitigação e/ou adaptação frente ao tema das mudanças climáticas?
A 'green' chameleon: Exploring the many disciplinary definitions, goals, and forms of "green infrastructure"	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
A review of drivers of tree diversity in suburban areas: Research needs for North American cities	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
A review of the concept 'management' in relation to urban landscapes and green spaces: Toward a holistic understanding	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Developing a certification system for urban forests in the United States	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Ecosystem-based management revisited: Updating the concepts for urban forests	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
It Is Not Easy Being Green: Recognizing Unintended Consequences of Green Stormwater Infrastructure	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Role of Vegetation as a Mitigating Factor in the Urban Context	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	SIM
The city as nature and the nature of the city - climate adaptation using living infrastructure: governance and integration challenges	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	SIM
The health benefits of nature-based solutions to urbanization challenges for children and the elderly - A systematic review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO

Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	SIM
Trends in Urban Forestry Research in Latin America & The Caribbean: A Systematic Literature Review and Synthesis	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Urban forest governance and decision-making: A systematic review and synthesis of the perspectives of municipal managers	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Urban Forest Research in Malaysia: A Systematic Review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	NÃO
Urban forest research in the Mediterranean: A systematic review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
Urban green infrastructure in Nigeria: A review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	NÃO
3D Tree Reconstruction in Support of Urban Microclimate Simulation: A Comprehensive Literature Review	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	NÃO
A comprehensive review of thermal adaptive strategies in outdoor spaces	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	NÃO
Adopting public values and climate change adaptation strategies in urban forest management: A review and analysis of the relevant literature	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	SIM
Artificial intelligence in urban forestry-A systematic review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	NÃO
Assessing the vulnerability of urban forests to climate change	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	SIM
Exploring global scientific discourses on urban forestry	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	SIM
Green infrastructure: systematic literature review	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	SIM
Importance, Utilization and Health of Urban Forests: A Review	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	NÃO

Review on Urban Forests and Trees as Nature-Based Solutions over 5 Years	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	SIM
Smarter ecosystems for smarter cities? A review of trends, technologies, and turning points for smart urban forestry	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	NÃO
Stakeholders' Engagement on Nature-Based Solutions: A Systematic Literature Review	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	NÃO
The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A review and suggestions for future research	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	SIM
The benefits of trees for livable and sustainable communities	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	NÃO
Urban afforestation and its ecosystem balance contribution: a bibliometric review	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	SIM
Urban plant physiology: adaptation-mitigation strategies under permanent stress	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	NÃO
vv Social-ecological and technological factors moderate the value of urban nature	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	NÃO

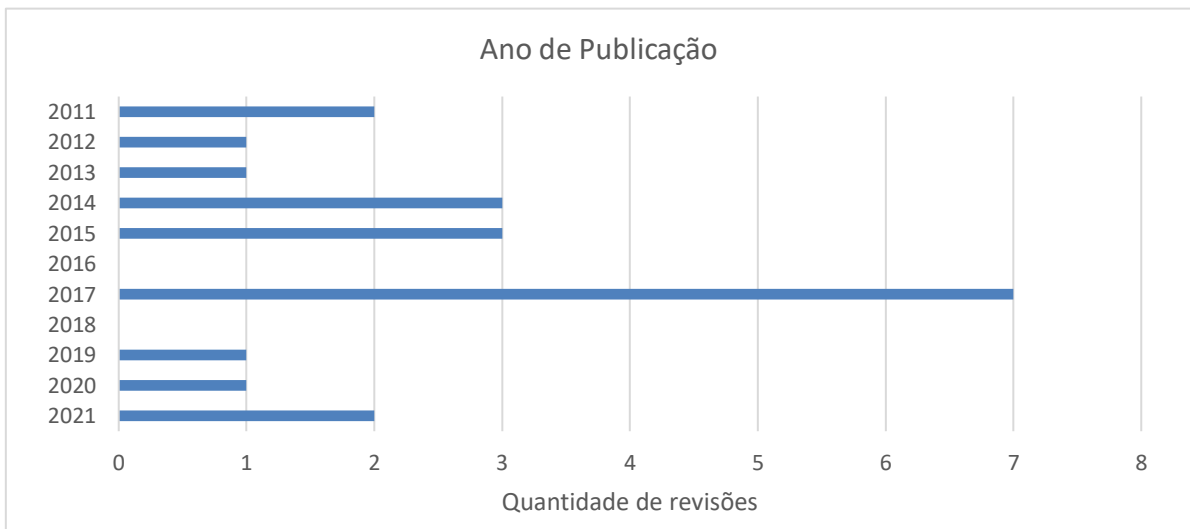
Quadro 7 - Revisões elegíveis para leitura após buscas, triagem e exclusão de duplicados

ELEGÍVEIS (DUAS BASES)
A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO ₂ emissions
A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones
Adopting public values and climate change adaptation strategies in urban forest management: A review and analysis of the relevant literature
Assessing the vulnerability of urban forests to climate change
Characteristics of carbon storage in Shanghai's urban forest
Effects of Urban Vegetation on Urban Air Quality
Exploring global scientific discourses on urban forestry
Green infrastructure: systematic literature review
Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment
High resolution remote sensing for reducing uncertainties in urban forest carbon offset life cycle assessments
Human footprints in urban forests: implication of nitrogen deposition for nitrogen and carbon storage
Importance of ecosystem services in cities: review of publications from 2003 to 2015
Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management
Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review
Role of Vegetation as a Mitigating Factor in the Urban Context
The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review
The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A review and suggestions for future research
Urban afforestation and its ecosystem balance contribution: a bibliometric review
Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices
The city as nature and the nature of the city - climate adaptation using living infrastructure: governance and integration challenges
Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest

4. RESULTADOS

Em relação ao ano de publicação (Imagem 1), os dois primeiros artigos foram publicados sobre o tema em 2011 (ESCOBEDO et al., 2011; LEUNG et al., 2011). Entre o ano de 2012 e 2013 houve um artigo por ano sobre o tema (ROY et al., 2012; ZHE et al., 2013), havendo uma aceleração positiva em 2014 para três publicações (ORDOÑEZ & DUINKER, 2014; SALMOND et al., 2014; WEISSERT et al., 2014), taxa que se manteve em 2015 (BAI et al., 2015; BARONA, 2015; OSTOÍC & BOSCH, 2015). Nenhum artigo que respondesse à pergunta de pesquisa foi publicado em 2016 e 2018, mas no ano de 2017 houve sete publicações (ALEXANDRA, 2017; MUÑOZ & FREITAS, 2017; NESBITT et al., 2017; O'SULLIVAN et al., 2017; SONG et al., 2017; TALEGHANI et al., 2017; TIGGES & LAKES, 2017). Em 2019 e 2020, somente uma publicação foi feita por ano (ROELAND et al., 2019; FERRINI et al., 2020), havendo em 2021 dois artigos (WIESEL et al., 2021; YING et al., 2021). No ano de 2022, até a data final de busca da presente pesquisa, nenhum artigo foi publicado sobre o tema de pesquisa.

Figura 7 - Ano de publicação das revisões selecionadas



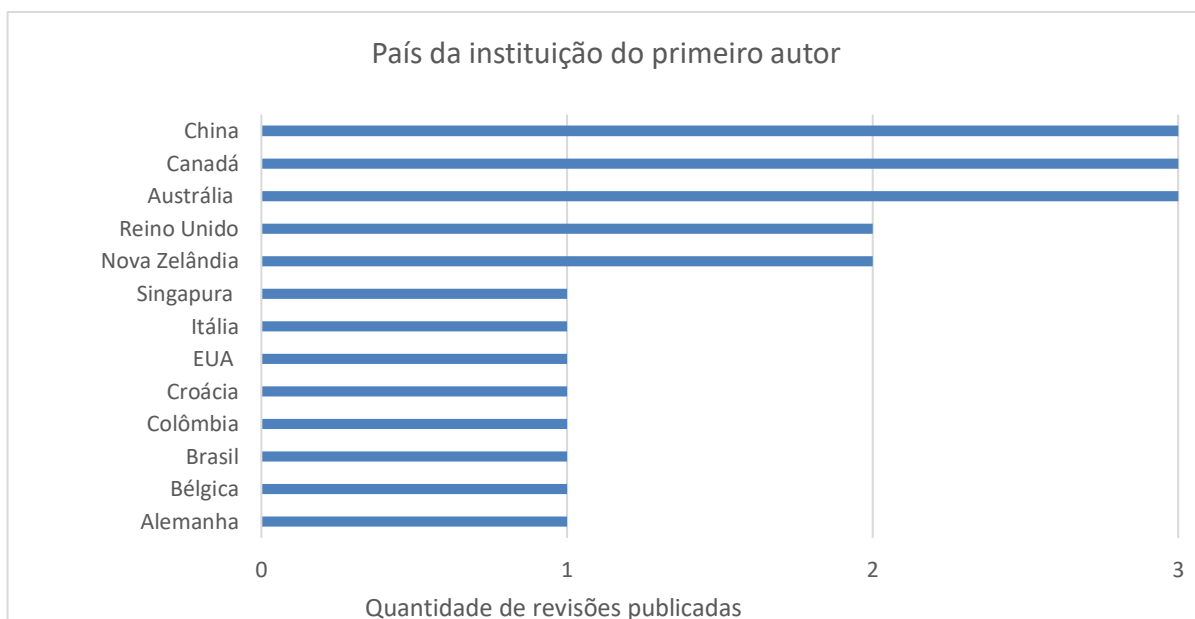
Somente uma pesquisa foi publicada nos periódicos *Landscape Research* (LEUNG et al., 2011), *Environmental Pollution* (ESCOBEDO et al., 2011), *Chinese Science Bulletin* (ZHE et al., 2013), *Environmental Reviews* (ORDOÑEZ & DUINKER, 2014), *Environmental Health* (SALMOND et al., 2014), *Urban Climate* (WEISSERT et al., 2014), *Journal of Soils and Sediments* (BAI et al., 2015), *Carbon Balance and Management* (TIGGES & LAKES, 2017), *Australasian Journal of Water Resources* (ALEXANDRA, 2017), *Revista de Gestão Ambiental*

e Sustentabilidade (MUÑOZ & FREITAS, 2017), *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (TALEGHANI, 2017), *Journal of Forestry Research* (ROELAND et al., 2019), *Sustainability* (FERRINI et al., 2020), *Management of Environmental Quality* (WIESEL et al., 2021) e *Economic Research* (YING et al., 2021). Dois artigos foram publicados no *Journal of Environmental Management* (BARONA, 2015; O’SULLIVAN et al., 2017) e quatro no periódico *Urban Forestry & Urban Greening* (ROY et al., 2012; OSTOÍĆ & BOSCH, 2015; NESBITT et al., 2017; SONG et al., 2017). Não foi verificada a nota Qualis de nenhum dos periódicos e sugere-se que futuras revisões de literatura sobre o tema o façam.

As instituições nas quais os primeiros autores de cada artigo estavam vinculados quando publicaram também foram analisadas. Em três artigos, o país era a China (LEUNG et al., 2011; ZHE et al., 2013; YING et al., 2021), Austrália (ROY et al., 2012; BARONA, 2015; ALEXANDRA, 2017) e Canadá (ORDOÑEZ & DUINKER, 2014; BARONA, 2015; NESBITT et al., 2017); em dois Nova Zelândia (SALMOND et al., 2014; WEISSERT et al., 2014) e Reino Unido (O’SULLIVAN et al. 2017; TALEGHANI, 2017); em um os EUA (ESCOBEDO et al., 2011), Croácia (OSTOÍĆ & BOSCH, 2015), Alemanha (TIGGES & LAKES, 2017), Colômbia (MUÑOZ & FREITAS, 2017), Singapura (SONG et al., 2017), Bélgica (ROELAND et al., 2019), Itália (FERRINI et al., 2020) e Brasil (WIESEL et al., 2021).

O idioma em que 20 estudos foram escritos foi em inglês e apenas um artigo foi publicado em português (MUÑOZ & FREITAS, 2017).

Figura 8 – País da instituição do primeiro autor das revisões selecionadas



“Serviços ecossistêmicos” foi o tema mais abordado nas pesquisas analisadas, sendo investigado em oito pesquisas (Quadro 8) e em algumas dessas tendo sido investigado sob as perspectivas de avaliação conforme regiões climáticas (ROY et al., 2012), cultural (NESBITT et al., 2017), mitigação da poluição (ESCOBEDO et al., 2011), mitigação e adaptação (FERRINI et al., 2020), saúde (SALMOND et al., 2014) e vegetação de beiras de estrada (O’SULLIVAN et al., 2017). O segundo tema mais abordado (i.e., três pesquisas) foi “Mudanças climáticas – mitigação”, estudado em relação ao armazenamento de carbono (ZHE et al., 2013), mensuração (TIGGES & LAKES, 2017) e mitigação das emissões urbanas de CO₂ (WEISSERT et al., 2014). Os temas florestas urbanas e adaptação foram estudados em duas pesquisas, sendo o primeiro analisado quanto às áreas de pesquisa (OSTOÍĆ & BOSCH, 2015) e florestas urbanas (WIESEL et al., 2021), e o último quanto ao manejo florestal (BARONA, 2015) e água (ALEXANDRA, 2017). Os outros temas (i.e., mudanças climáticas – vulnerabilidade; influência da deposição de nitrogênio no armazenamento de carbono e nitrogênio das florestas urbanas; infraestrutura verde; qualidade do ar; valoração; e conforto térmico) foram analisados em um estudo cada.

Quadro 8 – Categorização dos estudos elegíveis conforme tema

CATEGORIA	TEMA	AUTORES
SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS	Muñoz & Freitas, 2017
	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS	Roeland et al., 2019
	AVALIAÇÃO CONFORME REGIÕES CLIMÁTICAS DIFERENTES	Roy et al., 2012
	CULTURAIS	Nesbitt et al., 2017
	MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO	Escobedo et al., 2011
	MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO	Ferrini et al., 2020
	SAÚDE	Salmond et al., 2014
	VEGETAÇÃO DE BEIRAS DE ESTRADA	O’Sullivan et al., 2017
MUDANÇAS CLIMÁTICAS - MITIGAÇÃO	ARMAZENAMENTO DE CARBONO	Zhe et al., 2013
	MENSURAÇÃO	Tigges & Lakes, 2017
	MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES URBANAS DE CO ₂	Weissert et al., 2014
FLORESTAS URBANAS	ÁREAS DE PESQUISA	Ostoíć & Bosch, 2015
	FLORESTAS URBANAS	Wiesel et al., 2021
ADAPTAÇÃO	MANEJO FLORESTAL URBANO	Barona, 2015
	ÁGUA	Alexandra, 2017

MUDANÇAS CLIMÁTICAS - VULNERABILIDADE	MUDANÇAS CLIMÁTICAS - VULNERABILIDADE	Ordoñez & Duinker, 2014
QUÍMICA DO SOLO	INFLUÊNCIA DA DEPOSIÇÃO DE NITROGÊNIO NO ARMAZENAMENTO DE CARBONO E NITROGÊNIO DAS FLORESTAS URBANAS	Bai et al., 2015
INFRAESTRUTURA VERDE	INFRAESTRUTURA VERDE	Ying et al., 2021
QUALIDADE DO AR	QUALIDADE DO AR	Leung et al., 2011
VALORAÇÃO	BENEFÍCIOS E CUSTOS DAS FLORESTAS URBANAS	Song et al., 2017
CONFORTO TÉRMICO	CONFORTO TÉRMICO EXTERNO	Taleghani, 2017

As ideias principais, sobre “Mitigação”, “Adaptação” e “Vulnerabilidade”, de cada artigo analisado, bem como os pontos de atenção sobre esse tema, foram descritos nos Quadros 9, 10 e 11. Alguns estudos analisados evidenciaram que florestas urbanas e áreas verdes são relevantes para mitigar mudanças climáticas e reduzir os efeitos de ilhas de calor urbanas, ainda que falhas metodológicas sejam expostas e cuidados procedimentais sejam indicados para que esse apontamento seja factível em diferentes ambientes e momentos (e.g., ZHE et al., 2013; WEISSERT et al., 2014; TIGGES & LAKES, 2017; ALEXANDRA, 2017; FERRINI et al., 2020; LEUNG et al., 2011; ORDOÑEZ & DUINKER, 2014).

Quadro 9 - Reunião das principais ideias e pontos de atenção sobre mitigação dos resultados analisados

MITIGAÇÃO	
IDEIAS PRINCIPAIS	REFERÊNCIAS
Floresta urbana sequestra e armazena CO ₂ através de processos fisiológicos (por meio da fotossíntese e formação da biomassa).	Alexandra, 2017; Muñoz & Freitas, 2017; Leung et al., 2011; Roy et al., 2012; Ferrini et al., 2020; Escobedo et al., 2011; Roeland et al., 2019; Weissert et al., 2014; O’Sullivan et al., 2017
Floresta urbana reduz emissões de CO ₂ indiretamente, por conta de seu efeito resfriador, que diminui o gasto energético com resfriamento de edificações.	Roy et al., 2012; Ferrini et al., 2020; Weissert et al., 2014
Florestas urbanas e áreas verdes são relevantes para mitigar as mudanças climáticas.	Ferrini et al., 2020; Weissert et al., 2014; Zhe et al., 2013
Estrutura e composição das florestas urbanas (como porte, taxa de crescimento, biomassa, densidade de madeira, tipo da folha, disposição e localização) determinam a capacidade de armazenamento de carbono.	Roeland et al., 2019; Leung et al., 2011; Weissert et al., 2014; O’Sullivan et al., 2017
Condições climáticas e práticas de manejo influenciam no potencial das florestas urbanas para compensar as emissões antrópicas de CO ₂ .	Weissert et al., 2014; Zhe et al., 2013
Estratégias de mitigação incluem plantar mais árvores, otimizar a seleção de espécies para captura de carbono e otimizar o arranjo de árvores em relação aos edifícios.	Barona, 2015
Florestas urbanas jovens tem alto potencial de armazenamento de carbono.	Tigges & Lakes, 2017; Zhe et al., 2013

Árvores armazenam e sequestram carbono, o que pode ser traduzido em termos monetários. Na maior parte dos estudos estes benefícios superam os custos.	Song et al., 2017
O sequestro de carbono a longo prazo requer árvores saudáveis e resilientes aos possíveis efeitos das mudanças climáticas, como árvores resistentes às secas. A escolha de espécies é essencial para potencializar o sequestro de carbono pelas florestas urbanas	O'Sullivan et al., 2017
A associação entre arborização urbana e <i>water sensitive design</i> possibilita o aumento da infiltração das águas pluviais no solo, o que colabora com o crescimento da vegetação urbana e consequentemente, no sequestro de carbono.	Alexandra, 2017
PONTOS DE ATENÇÃO	REFERÊNCIAS
O plantio em si, atividades de manejo, bem como a biomassa morta e processos respiratórios em desequilíbrio podem contribuir para emissões de carbono e metano e/ou consumir mais recursos hídricos.	Leung et al., 2011; Escobedo et al., 2011; Weissert et al., 2014
Emissões de carbono nas cidades são mais altas do que capacidade de sequestro das árvores urbanas.	Ostói c & Bosch, 2015; Roeland et al., 2019; Weissert et al., 2014
A compensação de carbono das florestas urbanas não é um valor estático e que pode ser traduzido em algo positivo ou negativo. A sua complexidade e dinâmicas mudam ao longo do tempo e isso deve ser considerado nas avaliações.	Tigges & Lakes, 2017; Escobedo et al., 2011; Ferrini et al., 2020
Fatores do ambiente urbano interferem no potencial de armazenamento de carbono das árvores e é difícil ter estimativas precisas para as florestas urbanas.	Zhe et al., 2013
Algumas espécies de árvores emitem BVOCs, que podem reagir na atmosfera formando poluentes e aumentando a concentração de GEEs.	Ferrini et al., 2020
Potencial líquido de redução de CO ₂ das florestas urbanas ainda é pouco sustentado por evidências científicas e/ou estudos contém falhas que geram incertezas.	Weissert et al., 2014; Tigges & Lakes, 2017
Árvores nas ruas podem ter desempenho diferente das árvores de praças e parques, pois são submetidas a mais podas e mais fatores de estresse. A forma de medir seu armazenamento de carbono deve levar em conta esses fatores.	Zhe et al., 2013

Quadro 10 - Reunião das principais ideias e pontos de atenção sobre adaptação dos resultados analisados

ADAPTAÇÃO	
IDEIAS PRINCIPAIS	REFERÊNCIAS
Florestas urbanas e áreas verdes contribuem na redução dos efeitos das ilhas de calor urbanas e reduzem a energia usada para resfriamento.	Alexandra, 2017; Ferrini et al., 2020; Leung et al., 2011
Florestas urbanas e áreas verdes contribuem na melhoria do microclima, do conforto térmico e na redução da temperatura do ar e superfícies, através do sombreamento, da umidade, da evapotranspiração (tanto da vegetação quanto do solo), da reflexão da luz solar e da interceptação direta da radiação solar.	Muñoz & Freitas, 2017; Alexandra, 2017; O'Sullivan et al., 2017; Roeland et al., 2019; Roy et al., 2012; Salmond et al., 2014; Salmond et al., 2014; Taleghani, 2017; Wiesel et al., 2021; Ferrini et al., 2020
Florestas urbanas interceptam diretamente as águas pluviais, reduzindo o escoamento superficial, aumentando a infiltração da água no solo e colaborando no controle da erosão e na redução do risco de enchentes. Estes serviços são importantíssimos frente às chuvas intensas previstas como efeito das mudanças climáticas.	Ferrini et al., 2020; O'Sullivan et al., 2017; Roy et al., 2012
Parques tem o maior efeito resfriador nas cidades e árvores são os elementos mais importantes para esse efeito.	Taleghani, 2017
Infraestruturas verdes têm papel importante na adaptação frente às mudanças climáticas e esta é uma importante frente de pesquisa.	Ying et al., 2021

Florestas urbanas devem ser consideradas Soluções baseadas na Natureza e as SbNs são boas ferramentas para trazer resiliência para as cidades frente as mudanças climáticas.	Roeland et al., 2019
Florestas urbanas dão suporte para a resiliência dos ecossistemas urbanos e para a resiliência da infraestrutura cinza.	Roeland et al., 2019
PONTOS DE ATENÇÃO	REFERÊNCIAS
A mitigação do efeito das ilhas de calor pela vegetação urbana depende das espécies e idade das árvores. É importante que se façam mais estudos que ajudem na escolha adequada de espécies.	Wiesel et al., 2021; Ferrini et al., 2020
Árvores urbanas interceptam a água da chuva pela copa e aumentam a permeabilidade do solo, o que reduz inundações, mas esses efeitos são difíceis de quantificar. São necessários mais estudos sobre a interação entre árvores e as águas pluviais.	Salmond et al., 2014; Wiesel et al., 2021
Impactos da arborização urbana no clima dependem do contexto regional, posição geográfica, tipologia urbana, estrutura e composição da floresta urbana, idade e estado das árvores.	Salmond et al., 2014
Resultados não acharam estudos relacionando floresta urbana com adaptação frente às mudanças climáticas, mas quando a busca é por infraestrutura verde aparecem muitos estudos e pesquisas.	Ostojic & Bosch, 2015
Apesar da floresta urbana e infraestruturas verdes serem citadas na literatura como possíveis estratégias de adaptação, sua vulnerabilidade em relação às mudanças climáticas ainda não é bem compreendida. Para desenvolver boas estratégias de adaptação é necessário compreender a vulnerabilidade desses ecossistemas.	Ordoñez & Duinker, 2014

Em boa parte das revisões selecionadas, a discussão feita analisava a vulnerabilidade das florestas urbanas frente às mudanças climáticas. Ainda que este tema não tenha sido um objetivo específico deste trabalho, categorizar as ideias principais dessa área se mostra relevante. Florestas urbanas vulneráveis podem ter menor potencial para colaborar com a mitigação e adaptação nos centros urbanos e podem requerer um manejo diferenciado. Dessa forma, as ideias e pontos de atenção sobre “Vulnerabilidade” estão organizadas no Quadro 11.

Quadro 11 - Reunião das principais ideias e pontos de atenção sobre vulnerabilidade dos resultados analisados

VULNERABILIDADE	
IDEIAS PRINCIPAIS	REFERÊNCIAS
Efeitos das mudanças climáticas podem aumentar o estresse das florestas urbanas e algumas espécies podem se adaptar mal. Manejo adaptado deve ser previsto.	Tigges & Lakes, 2017; Ordoñez & Duinker, 2014; Barona, 2015
A capacidade das árvores de fornecer serviços ecossistêmicos muda se elas estiverem sob condições de estresse. Dessa forma, o impacto das mudanças climáticas nas florestas urbanas pode modificar o seu potencial de mitigação e adaptação.	Roeland et al., 2019; Barona, 2015; Salmond et al., 2014
Fatores de estresse como podas ou secas podem aumentar os processos respiratórios, de forma que as árvores podem emitir mais carbono do que sequestrar.	Roeland et al., 2019
Fatores estressores abaixam a expectativa de vida das árvores urbanas, sobretudo das árvores do sistema viário.	Ordoñez & Duinker, 2014
Os efeitos das mudanças climáticas nas florestas urbanas podem facilitar a difusão de espécies exóticas invasoras.	Ordoñez & Duinker, 2015

Aumento da frequência e intensidade de ventos podem gerar mais perda nas florestas urbanas.	Ordoñez & Duinker, 2014; Barona, 2015
O aumento das temperaturas pode atrasar as taxas de crescimento das árvores, causando declínio no seu crescimento e consequentemente, no sequestro de carbono, formando círculo desfavorável.	Wiesel et al., 2021; Ordoñez & Duinker, 2014
Escassez de água limita a capacidade fotossintética, aumentando a mortalidade das árvores.	Bai et al., 2015; Barona, 2015
A expectativa do aumento de incêndios induzidos pelas secas pode aumentar a mortalidade das árvores.	Bai et al., 2015; Ordoñez & Duinker, 2014
Aumento da suscetibilidade a pragas e doenças.	Ordoñez & Duinker, 2014; Barona, 2015
Aumento da mortalidade de espécies de árvores que não estão bem representadas, incluindo algumas nativas, raras, espécies endêmicas e/ou em risco	Barona, 2015
Maior mortalidade de árvores jovens e maduras, considerando que mudas e árvores mais velhas podem ser menos adaptáveis do que as árvores de meia idade.	Barona, 2015
PONTOS DE ATENÇÃO	REFERÊNCIAS
Ainda há poucos estudos discutindo adaptação e manejo da floresta urbana frente às mudanças climáticas. Maior necessidade de estudos para avaliar e valorar os benefícios	Ostojic & Bosch, 2015; Song et al., 2017
Aumentar a diversidade e composição de espécies de árvores nas florestas urbanas aumenta a resiliência geral do conjunto aos efeitos das mudanças climáticas.	O'Sullivan et al., 2017; Ordoñez & Duinker, 2014
A estrutura da floresta urbana é caracterizada pela baixa diversidade de espécies e uma floresta homogênea é mais vulnerável às mudanças climáticas	Ordoñez & Duinker, 2014
A vulnerabilidade de árvores pode estar relacionada a representatividade, diversidade, localização e conectividade.	Ordoñez & Duinker, 2014
A vulnerabilidade da floresta urbana às mudanças climáticas tem significado no contexto biofísico e social. A conscientização e o engajamento da comunidade são questões sociais que influenciam a vulnerabilidade das florestas urbanas.	Ordoñez & Duinker, 2014
Falta de conhecimento, cooperação e coordenação entre os órgãos municipais e gestores tornam as estratégias de redução de vulnerabilidade e adaptação frente às mudanças climáticas mais difíceis de serem implementadas.	Barona, 2015
A redução da vulnerabilidade das florestas urbanas é mais complexa do que apenas plantar mais árvores adequadas, pois tem relação com fatores ecológicos e sociais (incluir espécies e diversidade etária, adequação de habitat, técnicas de plantio, estratégias de manutenção, coordenação e cooperação, conhecimento e capacidade institucional.)	Barona, 2015

Limitações apontadas nos estudos incluídos nas revisões de literatura analisadas são sistematizadas no Quadro 12 e essas podem ser utilizadas por futuros estudos com diferentes delineamentos.

Quadro 12 - Lacunas de pesquisa indicadas nos resultados analisados

LACUNAS DE PESQUISA	
IDEIAS PRINCIPAIS	REFERÊNCIAS
Mais estudos são necessários para a América do Sul e zonas tropicais.	Roy et al., 2012; Weissert et al., 2014; Barona, 2015; Song et al., 2017
A estrutura e fisiologia da árvore aparentam ter forte relação com os serviços e desserviços ecossistêmicos. Assim, é extremamente importante ter ferramentas e estudos para auxiliar na escolha das espécies corretas.	Roy et al., 2012; Weissert et al., 2014
O conhecimento sobre impacto da vegetação urbana no CO ₂ atmosférico ainda é limitado, com incerteza nos métodos de mensuração. Mais estudos são necessários nessa área.	Weissert et al., 2014; Zhe et al., 2013

O potencial dos programas de arborização urbana e infraestrutura verde como medidas de mitigação das mudanças climáticas precisa ser mais investigado.	Weissert et al., 2014; Wiesel et al., 2021
Ainda falta uma estimativa global de compensação de carbono das florestas urbanas.	Zhe et al., 2013; Tigges & Lakes, 2017
Para cada clima é necessária uma estratégia de mitigação de calor diferente e esse é um ponto a ser mais estudado.	Taleghani, 2017

5. DISCUSSÃO

O aumento da urbanização (UNITED NATIONS, 2019) foi utilizado para justificar a importância de entender o que a expansão das cidades representa para o futuro da humanidade em uma perspectiva ambiental. Levando em consideração que a tendência de expansão urbana se concentra nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento (UNITED NATIONS, 2019) e analisando a origem dos estudos levantados nesta revisão, percebe-se que os países que produziram mais pesquisas relacionando florestas urbanas e mudanças climáticas são os desenvolvidos. Assim, seria interessante se houvesse mais estudos para o sul global, que ao mesmo tempo em que contém algumas das regiões mais urbanizadas do mundo, como a América Latina, concentra os locais com tendência de maior expansão nos próximos anos, como Ásia e África (UNITED NATIONS, 2019).

Visto que, com o processo de urbanização, as áreas rurais se convertem em áreas urbanas (UNITED NATIONS, 2019), essa tendência de expansão indica uma mudança constante no uso do solo. Para as cidades já consolidadas, fazer mudanças no uso do solo, alterações na malha viária, na quantidade, forma e disposição das edificações é mais difícil do que para cidades em crescimento e processo de consolidação (IPCC, 2021c). Assim, seria interessante que houvesse mais estudos auxiliando o processo de urbanização das cidades menos estruturadas, para que estas pudessem aproveitar as oportunidades criando espaços adaptados na perspectiva do enfrentamento às mudanças climáticas. Outro indicativo da utilidade de mais estudos para países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos é de que seus centros urbanos serão os mais afetados pelas mudanças climáticas, afetando as populações mais vulneráveis.

5.1. Mitigação

Em relação ao papel das florestas urbanas na mitigação das mudanças climáticas, os estudos analisados corroboram os relatórios do IPCC, que consideram as florestas urbanas ferramentas importantes, porém insuficientes para resolver esta questão sozinhas (IPCC, 2021c).

O Grupo III do IPCC (2021c) verificou que o conjunto das árvores urbanas do mundo armazenam em torno de 7,4 bilhões de toneladas de carbono e sequestram 217 milhões de toneladas de carbono/ano, apresentando a possibilidade de triplicar esse valor com um plantio maciço de árvores urbanas nas áreas ainda disponíveis. Mancuso (2021), cita estudo cujo

resultado indica que o plantio de 1 trilhão de árvores seria a melhor estratégia para absorção de CO₂ emitido pela humanidade, mitigando o aquecimento global. Entretanto, ainda que Mancuso, os pesquisadores do IPCC e as revisões obtidas neste trabalho tenham concordância no papel das árvores no sequestro e armazenamento de carbono, os resultados obtidos verificaram falhas e incertezas nos métodos de mensuração da absorção de CO₂.

Grande parte dos estudos analisados mencionam que a floresta urbana sequestra e armazena CO₂ através da fotossíntese e formação da biomassa (Alexandra, 2017; MUÑOZ & FREITAS, 2017; LEUNG et al., 2011; ROY et al., 2012; FERRINI et al., 2020; ESCOBEDO et al., 2011; ROELAND et al., 2019; WEISSERT et al., 2014; O'SULLIVAN et al., 2017). Entretanto, Ostoić & Bosch (2015), Roeland et al. (2019) e Weissert et al. (2014) indicam que as emissões de carbono nas cidades são mais altas do que capacidade de sequestro das árvores urbanas e dessa forma, o modelo das cidades deve ser repensado de forma a reduzir essas emissões. Estes resultados estão em consonância com o IPCC (2021c), que também indica a necessidade de remodelação dos sistemas, a descarbonização a partir da eletrificação e a redução do consumo de energia.

Entre as revisões analisadas, há concordância de que a compensação de carbono das florestas urbanas não é um valor estático, e que sua complexidade e dinâmica mudam ao longo do tempo, o que deve ser considerado nas avaliações (TIGGES & LAKES, 2017; ESCOBEDO et al., 2011; FERRINI et al., 2020). O potencial líquido de redução de CO₂ das florestas urbanas ainda é pouco sustentado por evidências científicas, os estudos contêm falhas que geram incertezas (WEISSERT et al., 2014; TIGGES & LAKES, 2017) e os fatores do ambiente urbano, as condições climáticas e as práticas de manejo interferem no potencial de armazenamento de carbono das árvores, dificultando a obtenção de estimativas precisas para as florestas urbanas (WEISSERT et al., 2014; ZHE et al., 2013).

Os resultados obtidos também indicam a necessidade de levar em consideração que o plantio em si, atividades de manejo, bem como a biomassa morta e processos respiratórios em desequilíbrio podem contribuir para emissões de carbono e metano ou consumir mais recursos hídricos (LEUNG et al., 2011; ESCOBEDO et al., 2011; WEISSERT et al., 2014) e ainda, que algumas espécies de árvores emitem BVOCs,¹⁵ podendo reagir na atmosfera formando poluentes e aumentando a concentração de GEEs (FERRINI et al., 2020). Estes apontamentos

¹⁵ BVOCs - *Biogenic volatile organic compound* – são compostos orgânicos voláteis biogênicos emitidos por algumas espécies de plantas.

vão de encontro ao mencionado pelos pesquisadores do IPCC (2021c), que indicam que sistemas alterados ou em desequilíbrio podem virar fontes emissoras de carbono.

Outro benefício no que diz respeito as árvores urbanas e seu papel na mitigação, é a economia de energia que estas geram devido ao seu efeito resfriador, tanto em ambientes internos quanto externos. Essa redução no uso de energia contribui indiretamente para diminuir as emissões de CO₂ (ROY et al., 2012; FERRINI Et al., 2020; WEISSERT et al., 2014; IPCC,2021c), sobretudo em um contexto de energia oriunda da queima de combustíveis fósseis.

Entretanto, segundo os pesquisadores do IPCC, avaliar os benefícios de mitigação é complexo, pois depende de uma série de fatores, como “contexto, escala e disposição espacial de cada tipo de infraestrutura verde e azul e sua proximidade com os edifícios” (IPCC, 2021c, p.64). Os resultados obtidos nesta revisão corroboram o IPCC e acrescentam, ainda, que a estrutura, composição e características físicas das florestas urbanas (como porte, taxa de crescimento, biomassa, densidade de madeira, tipo da folha, disposição e localização) determinam a capacidade de armazenamento de carbono (ROELAND et al., 2019; LEUNG et al., 2011; WEISSERT et al., 2014; O’SULLIVAN et al., 2017).

Por fim, embora Mancuso (2021) tenha indicado que existe uma correlação entre a capacidade de absorção de carbono pelas plantas e a distância entre a vegetação e as fontes emissoras de CO₂, não foram encontrados estudos nessa revisão que corroborem esses dados.

5.2. Adaptação

Em relação à adaptação e o papel das florestas urbanas na criação de cidades mais preparadas e resilientes frente às mudanças climáticas, os resultados obtidos na presente pesquisa se alinham ao conteúdo elaborado pelo IPCC, que indica uma série de benefícios adaptativos promovidos pelas árvores urbanas.

Alguns dos efeitos provocados pelas mudanças climáticas são o aumento da temperatura, ondas de calor mais frequentes e alteração do regime de chuvas, com precipitações muito intensas ou secas severas e duradouras, conforme a região (IPCC, 2021a). As florestas urbanas oferecem uma série de serviços ecossistêmicos que podem ser utilizados com o intuito de minimizar estes impactos e aumentar a resiliência do sistema urbano frente a esses efeitos.

Segundo o Grupo de Trabalho II do IPCC, as SbN podem reduzir o calor, resfriando espaços através do sombreamento direto e da evapotranspiração, porém, o efeito de resfriamento pela vegetação depende de diversos fatores, o que se alinha aos resultados obtidos.

Florestas urbanas e áreas verdes contribuem na melhoria do microclima, do conforto térmico e na redução da temperatura do ar e superfícies, através do sombreamento, da umidade, da evapotranspiração (tanto da vegetação quanto do solo), da reflexão da luz solar e da interceptação direta da radiação solar (MUÑOZ & FREITAS, 2017; ALEXANDRA, 2017; O'SULLIVAN et al., 2017; ROELAND et al., 2019; ROY et al., 2012; SALMOND et al., 2014; SALMOND et al., 2014; TALEGHANI, 2017; WIESEL et al., 2021; FERRINI et al., 2020). Segundo Taleghani (2017), os parques têm o maior efeito resfriador nas cidades e árvores são os elementos mais importantes para esse efeito.

As florestas urbanas e áreas verdes também contribuem na redução dos efeitos das ilhas de calor urbanas e reduzem a energia usada para resfriamento (ALEXANDRA, 2017; FERRINI et al., 2020; LEUNG et al., 2011). Entretanto, Wiesel et al. (2021) e Ferrini et al. (2020) indicam que a mitigação do efeito das ilhas de calor pela vegetação urbana depende das espécies e idade das árvores e ressaltam a importância de se fazer mais estudos que ajudem na escolha adequada de espécies.

Embora a floresta urbana tenha um papel na adaptação, o IPCC (2021b) indica que remanescentes florestais podem ter um efeito resfriador maior do que áreas verdes projetadas. O presente estudo, entretanto, não comparou o efeito de florestas urbanas versus remanescentes, mas futuras pesquisas podem fazê-lo.

Em relação às águas pluviais, alinhado ao IPCC, os resultados obtidos indicam que as florestas urbanas interceptam diretamente as águas pluviais, reduzindo o escoamento superficial, aumentando a infiltração da água no solo e colaborando no controle da erosão e na redução do risco de enchentes. Estes serviços são importantíssimos frente às chuvas intensas previstas como efeito das mudanças climáticas (FERRINI et al., 2020; O'SULLIVAN et al., 2017; ROY et al., 2012). Porém, as árvores urbanas interceptam a água da chuva pela copa e aumentam a permeabilidade do solo, mas esses efeitos são difíceis de quantificar, indicando a necessidade de mais estudos sobre a interação entre árvores e as águas pluviais (SALMOND et al., 2014; WIESEL et al., 2021).

É importante ressaltar que de acordo com Salmond et al. (2014), os efeitos da arborização urbana no clima dependem do contexto regional, posição geográfica, tipologia urbana, estrutura e composição da floresta urbana, idade e estado das árvores. Somado a essas variáveis, segundo Ordoñez & Duinker (2014), apesar da floresta urbana ser citada na literatura como uma ferramenta de adaptação, sua vulnerabilidade em relação às mudanças climáticas

ainda não é bem compreendida e para desenvolver boas estratégias de adaptação é necessário compreender a fragilidade desses ecossistemas.

5.3. Vulnerabilidade

No geral, as SbN e infraestruturas verdes são apresentadas como opções para as duas frentes, mitigação e adaptação, mas a pesquisa sobre o quanto essas tipologias podem ser vulneráveis às mudanças climáticas ainda é escassa (IPCC, 2021b). Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram os dados do IPCC, ressaltando a necessidade de avaliar como as árvores urbanas responderão aos efeitos das mudanças climáticas, inclusive apontando que a capacidade das árvores de fornecer serviços ecossistêmicos muda se elas estiverem sob condições de estresse. Dessa forma, o impacto das mudanças climáticas nas florestas urbanas pode modificar o seu potencial de mitigação e adaptação (ROELAND et al., 2019; BARONA, 2015; SALMOND et al., 2014).

É possível que algumas espécies de árvores urbanas consigam se adaptar aos efeitos das mudanças climáticas, mas o esperado é que essas mudanças aumentem o estresse das florestas urbanas. Dessa forma, o manejo adaptado deve ser previsto (Tigges & Lakes, 2017; ORDOÑEZ & DUINKER, 2014; BARONA, 2015).

Os fatores estressores, como podas ou secas podem aumentar os processos respiratórios, de forma que as árvores podem emitir mais carbono do que sequestrar (ROELAND et al., 2019). Além disso, eles abaixam a expectativa de vida das árvores urbanas, sobretudo das árvores de acompanhamento viário (ORDOÑEZ & DUINKER, 2014), o que também é preocupante do ponto de vista da mitigação e adaptação, uma vez que a matéria morta das árvores passa a se decompor, emitindo carbono na atmosfera.

As previsões fornecidas pelo IPCC (2021a), de aumento na frequência e intensidade de ventos, podem gerar mais perdas e quedas das árvores urbanas (ORDOÑEZ & DUINKER, 2014; BARONA, 2015), a previsão de seca e escassez hídrica pode limitar a capacidade fotossintética, aumentando a mortalidade das árvores (BAI et al., 2015; BARONA, 2015) - sobretudo de espécies em risco, nativas, raras e endêmicas (BARONA, 2015) - e a expectativa de aumento na frequência e intensidade de incêndios induzidos pelas secas também pode aumentar a mortalidade das árvores (BAI et al., 2015; ORDOÑEZ & DUINKER, 2014).

Esses efeitos estressores podem facilitar a difusão de espécies exóticas invasoras e aumentar a suscetibilidade das árvores às pragas e doenças (ORDOÑEZ & DUINKER, 2014;

BARONA, 2015). Por fim, o aumento das temperaturas pode atrasar as taxas de crescimento das árvores, causando declínio no seu crescimento e consequentemente, no sequestro de carbono, formando círculo desfavorável (WIESEL et al., 2021; ORDOÑEZ & DUINKER, 2014).

Uma vez que florestas homogêneas são mais vulneráveis às mudanças climáticas e a estrutura da floresta urbana é caracterizada pela baixa diversidade de espécies (ORDOÑEZ & DUINKER, 2014), aumentar a diversidade e composição de espécies de árvores nas florestas urbanas aumenta a resiliência geral do conjunto (O'SULLIVAN et al., 2017; ORDOÑEZ & DUINKER, 2014).

Ainda existem poucos estudos discutindo adaptação e manejo da floresta urbana frente às mudanças climáticas (OSTOÍĆ & BOSCH, 2015; SONG et al., 2017). Falta de conhecimento, cooperação e coordenação entre os órgãos municipais e gestores tornam as estratégias de redução de vulnerabilidade e adaptação frente às mudanças climáticas mais difíceis de serem implementadas. (BARONA, 2015)

Por fim, alguns estudos analisados também indicam que a vulnerabilidade das florestas urbanas está relacionada a questões sociais. Ordoñez & Duinker (2014) apontam que a conscientização e o engajamento da comunidade influenciam a vulnerabilidade das florestas urbanas e de acordo com Barona (2015), reduzir a da vulnerabilidade é mais complexo do que apenas plantar mais árvores adequadas, pois tem relação com fatores ecológicos e sociais (incluir espécies e diversidade etária, adequação de habitat, técnicas de plantio, estratégias de manutenção, coordenação e cooperação, conhecimento e capacidade institucional).

5.4. Considerações, limitações e recomendações

Em relação a nomenclatura utilizada para tratar das árvores que estão nos espaços urbanos, o próprio IPCC diferencia *street trees*¹⁶ de florestas urbanas. Nos artigos analisados nesta revisão, parte indicou utilizar florestas urbanas para tratar de um ecossistema mais amplo, incluindo as árvores, os arbustos e forrações e o solo permeável (ROY et al., 2012; WEISSERT et al., 2014; ORDOÑEZ & DUINKER, 2014) e parte diferenciou as árvores plantadas junto ao sistema viário das florestas urbanas (SONG et al., 2017; ALEXANDRA, 2017).

Esta caracterização está alinhada à literatura de Paiva e Gonçalves (2019) e Magalhães (2006), no sentido de demonstrar que árvores agrupadas são mais eficientes para fornecer

¹⁶ Traduzido neste trabalho como arborização de acompanhamento viário.

serviços ecossistêmicos. Essa diferenciação é importante não apenas por uma questão de nomenclatura adequada, mas pelo conceito e pelo fato de essas tipologias fornecerem serviços ecossistêmicos em quantidades e formas diferentes e exigirem ações distintas de manejo, implicando em diferentes graus de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas.

As árvores implementadas ao longo do sistema viário estão sob maiores condições de estresse, o que pode diminuir a quantidade ou intensidade de serviços ecossistêmicos ofertados por elas, além de requerer mais manutenção, gerando emissões indiretas de GEEs (SALMOND et al., 2014). Dessa forma, o modelo de arborização de acompanhamento viário pode não ser o mais efetivo para o plantio de árvores visando a mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas. De acordo com Zhe et al. (2013) as árvores nas ruas podem ter desempenho diferente das árvores de praças e parques, pois são submetidas a mais podas e mais fatores de estresse. Assim, a forma de medir seu armazenamento de carbono deve levar em conta esses fatores.

De forma geral, parte das revisões analisadas indica a necessidade de mais estudos para a América do Sul e zonas climáticas tropicais (ROY et al., 2012; WEISSERT et al., 2014; BARONA, 2015; SONG et al., 2017). Taleghani (2017) aponta que para cada clima é necessária uma estratégia de mitigação de calor diferente, o que reforça a necessidade de mais estudos para diferentes zonas climáticas, tendo em vista que a maior parte das pesquisas foi realizada nos países do hemisfério norte.

Para avaliar o papel de mitigação das mudanças climáticas da floresta urbana e entender a influência destas árvores no CO₂ atmosféricos, os métodos de mensuração devem ser mais precisos e mais estudos são necessários (WEISSERT et al., 2014; ZHE et al., 2013; WIESEL et al., 2021). Por fim, visto que a estrutura e fisiologia das árvores aparentam ter forte relação com os serviços ecossistêmicos, também se faz necessário mais ferramentas e estudos para auxiliar na escolha das espécies mais adequadas, visando a mitigação e adaptação (ROY et al., 2012; WEISSERT et al., 2014).

Em relação às limitações dos resultados da pesquisa, é provável que nem todas as revisões de literatura que tenham abordado artigos sobre florestas urbanas, arborização urbana e suas relações com as mudanças climáticas tenham sido incluídos na presente pesquisa, que teve limitações de língua (i.e., incluiu somente estudos em português e inglês) e número de bases de dados (i.e., duas bases). Além disso, nem todas as revisões de literatura incluídas foram sistemáticas. Futuras pesquisas podem incluir estudos em outras línguas, realizar buscas em mais bases de dados e se ater a revisões sistemáticas como delineamentos elegíveis. Apesar das limitações antes citadas, tendo-se em vista que a meta primária de uma revisão sistemática de

revisões de literatura é sumarizar a produção de artigos científicos relacionados a um tema da pesquisa, considera-se que o objetivo geral de levantar o panorama da literatura científica dentro deste tema foi alcançado.

Das 21 revisões selecionadas, apenas 7 abordaram o tema trazendo as mudanças climáticas como ponto central (ZHE et al., 2013; ORDOÑEZ & DUINKER, 2014; WEISSERT et al., 2014; BARONA, 2015, ALEXANDRA, 2017; TIGGES & LAKES, 2017; FERRINI et al., 2020). As demais pesquisas trataram do tema parcialmente, de modo secundário ou de forma muito pontual, o que indica a necessidade de revisões em mais bases de dados e/ou mais estudos sobre o tema.

Para a fase de busca relacionada à adaptação às mudanças climáticas, esta pesquisa encontrou apenas dois resultados que não apareceram na busca da fase 1, sobre mitigação. De acordo com a revisão realizada por Ostoić & Bosch (2015), na busca realizada pelos autores, não foram achados estudos relacionando a floresta urbana com a adaptação frente às mudanças climáticas, mas quando a busca realizada utilizou a relação entre infraestrutura verde e adaptação, aparecem muitos estudos e pesquisas.

Os autores inclusive ressaltam que a falta da discussão da contribuição da floresta urbana para a adaptação às mudanças climáticas é surpreendente, sobretudo em um contexto em que esse assunto ganha importância. A discussão das ilhas de calor que apareceram não estão sendo discutidas no contexto do aquecimento global. A adaptação do manejo da floresta urbana em relação aos impactos que as mudanças climáticas trazem também é um tema pouco pesquisado na literatura. Em contrapartida, quando se trata da discussão da infraestrutura verde, ela é amplamente reconhecida como um meio de adaptação (OSTOÍĆ & BOSCH, 2015). Assim, sugere-se que futuras pesquisas com tema semelhante, incluam as palavras chaves *SbN* e *infraestrutura verde*, que poderão possibilitar um maior rastreamento de estudos elegíveis.

6. CONCLUSÃO

Em relação ao objetivo específico de verificar o papel das florestas urbanas na mitigação das mudanças climáticas, os resultados indicam que as árvores urbanas têm um papel importante no sequestro e armazenamento de carbono, porém ressaltam que as emissões de CO₂ geradas nas cidades são maiores do que a capacidade das árvores em mitigá-las. Mesmo assim, este potencial deve ser mais estudado e considerado como uma medida mitigativa, que deve ser implementada de forma integrada a outras ações para redução das emissões urbanas dos GEE.

Conforme as indicações do IPCC e os resultados do presente estudo, existem outras medidas para mitigação das mudanças climáticas que são prioritárias em relação a efetividade, quando comparadas à mitigação através das florestas urbanas, como a interrupção da emissão de gases de efeito estufa através da redução do consumo energético, da remodelação urbana para fomentar cidades mais compactas e caminháveis, da interrupção do desmatamento e degradação dos ecossistemas naturais, da eletrificação dos sistemas a partir de fontes de energia limpas e renováveis e através do uso de infraestruturas de baixo carbono.

Assim, de acordo com os resultados obtidos, dentro de todas as ferramentas e possibilidades disponíveis para mitigar as mudanças climáticas, a implementação, ampliação e manutenção das florestas urbanas são ações importantes, mas menos efetivas do que as citadas acima. Entretanto, conforme indicado pelo mesmo relatório e pelas revisões analisadas, o sequestro de carbono através de infraestruturas verdes (onde as tipologias de florestas urbanas e arborização de acompanhamento viário se encontram) é uma ferramenta relevante e que deve ser considerada e mais bem estudada, sobretudo por também possibilitar a adaptação, criando uma condição de resiliência para o meio urbano.

No que diz respeito ao objetivo de verificar a condição de adaptação frente às mudanças climáticas fomentada pelas florestas urbanas, conclui-se que as florestas urbanas tem um papel relevante para criar condições para aumentar a resiliência das cidades, visto que melhoram o conforto térmico e reduzem o estresse por calor, diminuindo as emissões indiretas de CO₂ a partir da economia de energia com resfriamento e colaboram com a drenagem urbana, interceptando as águas pluviais e reduzindo a frequência e intensidade de enchentes e alagamentos.

Entretanto, os resultados obtidos apontam que as mudanças climáticas também afetarão as florestas urbanas. Assim, é importante avaliar a vulnerabilidade dessas árvores em relação

aos impactos e considerar que a vulnerabilidade pode diminuir a influência das florestas urbanas na mitigação e adaptação. Todavia, mais estudos são necessários para entender e mensurar o potencial das árvores urbanas no enfrentamento às mudanças climáticas, sobretudo para a América do Sul e regiões de clima tropical.

Quanto ao objetivo geral deste trabalho, que visava compreender o panorama da produção científica sobre florestas urbanas e mudanças climáticas, foi possível perceber que apesar da vasta quantidade dos estudos publicados, a literatura ainda carece de: estudos para os países do sul global, para diferentes climas, com melhores formas de mensuração dos benefícios proporcionados pelas florestas urbanas e que também avaliem de forma mais precisa a vulnerabilidade das florestas urbanas às próprias mudanças climáticas.

Apesar das limitações e necessidades de estudos mais específicos sobre o tema, cabe reforçar a importância dos trabalhos que buscam compreender as relações entre mudanças climáticas e florestas urbanas, assim como as linhas de pesquisa do urbanismo e paisagismo que visam fomentar cidades mais resilientes. É importante ressaltar que os espaços urbanos já sofrem com os impactos que as mudanças climáticas trazem e mesmo que a humanidade consiga mitigar a mudança climática e limitar o aquecimento global conforme os cenários ideais estimados pelo IPCC, ainda haverá impacto, uma vez que o aquecimento da temperatura do planeta já é uma realidade em curso. Essa constatação reforça a importância de se pensar nas possibilidades de adaptação no meio urbano.

Assim, além de mais estudos necessários para entender e mensurar de forma mais precisa a colaboração das florestas urbanas frente às mudanças climáticas, é necessário rever o modelo que rege as cidades, alterando profundamente o uso do solo e o planejamento urbano, tendo em vista que as árvores urbanas devem ser encaradas como uma rede de infraestrutura básica, que fornece serviços ecossistêmicos essenciais para a manutenção da vida urbana.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA FAPESP. **Webinário FAPESP mudanças climáticas:** Lançamento do novo relatório do IPCC Grupo de Trabalho 2. [S.I.]: FAPESP, 2022. 1 vídeo (115min30sec). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pusHIS0wSEA>. Acesso em: 21 mar. 2022.

AGÊNCIA FAPESP. **Workshop:** lançamento do novo relatório do IPCC Grupo de Trabalho 1. [S.I.]: FAPESP, 2021. 1 vídeo (123min59sec). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=uD7FCs4XM1M&t=1954s>. Acesso em: 19 mar. 2022.

ALEXANDRA, J. The city as nature and the nature of the city - climate adaptation using living infrastructure: governance and integration challenges. **Australian J. Water Resources**. v. 21, n. 2, p. 63-76, nov. 2017.

COCHRANE [internet]. **Cochrane Library**, 2022. About Cochrane Reviews. Disponível em [tps://www.cochranelibrary.com/about/about-cochrane-reviews](https://www.cochranelibrary.com/about/about-cochrane-reviews). Acesso em: Ago. 2022.

ESCOBEDO, F. J.; KROEGER, T.; WAGNER, J. E. Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. **Environ. Pollut.** v. 159, n. 8-9, p. 2078-87, Aug-Sep; 2011.

FERRINI, F. et al. Role of vegetation as a mitigating factor in the urban context. **Sustainability**. v. 12, n. 10, p. 4247, 2020.

HERZOG, Cecilia Polacow. **Cidades para todos:** (re)aprendendo a conviver com a natureza. Rio de Janeiro: Mauad X: Inverde, 2013.

HERZOG, Cecília Polacow. Por um pacto verde para cidades biofílicas. *In:* MARQUES, Leila et al. (Org). **Cidades Vacinadas:** Ensaios urbanos e ambientais para um brasil pós-pandemia. Rio de Janeiro: Rio Books, 2021. Cap. 38, p.207-211.

HOSSEINI BAI, S. et al. Human footprints in urban forests: implication of nitrogen deposition for nitrogen and carbon storage. **J. Soils Sediments**, v. 15, n. 9, p. 1927–1936, 20 set. 2015.

IPCC, 2021a: **Summary for policymakers.** *In:* Climate change 2021: the physical science basis. contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>. Acesso em: 12 mar. 2022

IPCC, 2022a: **Summary for policymakers.** *In:* Climate change 2022: impacts, adaptation, and vulnerability. contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 14 mar. 2022

IPCC, 2022b: **Summary for policymakers.** *In:* Climate change 2022: mitigation of climate change. contribution of working group III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>. Acesso em: 04 abr. 2022

IPCC, 2021b: **Chapter 6: Cities, settlements and key infrastructure.** *In:* Climate change 2022: impacts, adaptation, and vulnerability. contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_Chapter06.pdf. Acesso em: 04 ago. 2022

IPCC, 2021c: **Chapter 8: Urban systems and other settlements.** *In:* Contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 2021. Disponível em: https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_Chapter08.pdf Acesso em: 05 ago. 2022

KEINER, S. A.; MARINHO, V. D.; MALERBI, F. E. K. Revisão Sistemática dos estudos experimentais publicados na “Perspectivas em Análise do Comportamento” de 2010 a 2018. **Perspectivas Em Análise Do Comportamento**, v. 11, n. 2, p 206–219, 2020.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade.** São Paulo: Centauro, 2001.

LEUNG, D. Y. C. et al. Effects of urban vegetation on urban air quality. **Landscape Research**, v. 36, n. 2, p. 173-188, abr. 2011.

MAGALHÃES, Luís Mauro S. Arborização e Florestas Urbanas – Terminologia adotada para a cobertura arbórea das cidades brasileiras. **Série Técnica Floresta e Ambiente**, p. 23-26, jan. 2006.

MANCUSO, Stefano. **A planta do mundo**. Tradução: Regina Silva. 1. ed. São Paulo: Ubu Editora, 2021.

MCR2030 [internet]. **Making Cities Resilient 2030**, 2022. Construindo Cidades Resilientes (MCR2030) Disponível em: < https://bit.ly/mcr2030_2022 >. Acesso em: Ago. 2022.

MUÑOZ, A. M. M.; FREITAS, S. R. DE. Importância dos serviços ecossistêmicos nas cidades: revisão das publicações de 2003 a 2015. **Rev. Gestão Ambiental Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 89–104, 1 ago. 2017.

NESBITT, L. et al. The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: a review and suggestions for future research. **Urban Forestry Urban Greening**, v. 25, p. 103-111, July 2017.

NSIDC: National Snow & Ice Data Center. **SOTC: Permafrost and Frozen Ground**. Boulder, CO: NSIDC, 2017. Disponível em: <https://nsidc.org/cryosphere/sotc/permafrost.html> . Acesso em: 20 abr. 2022

OECD [internet]. **Organisation for Economic Co-operation and Development**, 2022. Resilient Cities. Disponível em: <<https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/resilient-cities.htm>>. Acesso em: Ago. 2022

ORDÓÑEZ, C.; DUINKER, P. N. Assessing the vulnerability of urban forests to climate change. **Environmental Rev.** v. 22, n. 3, p 311-321, Sept. 2014.

ORDÓÑEZ BARONA, C. Adopting public values and climate change adaptation strategies in urban forest management: a review and analysis of the relevant literature. **J. Environmental Management**, v. 164, p. 215–221, 1 dez. 2015.

O'SULLIVAN, O. S. et al. Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management. **J. Environmental Management**, v. 191, p. 162-171, 15 April 2017.

OSTOIC, Silvija Krajter; VAN DEN BOSCH, Cecil C. KONIJNENDIJK. Exploring global scientific discourses on urban forestry. **Urban Forestry & Urban Greening**. v. 14, n. 1, p. 129-138, 2015.

PAIVA, Haroldo Nogueira de; GONÇALVES, Wantuelfer. **Florestas urbanas: planejamento para melhoria da qualidade de vida**. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2019.

PELLEGRINO, Paulo. Introdução. *In*: VARGAS, Helena Comin. (Ed.) **Estratégias para uma infraestrutura verde**. São Paulo: Manole, 2017. p. xi – xviii.

ROELAND, S. et al. Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest. **J. Forestry Res.** v. 30, p. 1981–1996, 2019.

ROLNIK, Raquel. **O que é cidade**. São Paulo: Brasiliense, 1995.

ROY, S.; BYRNE, J.; PICKERING, C. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. **Urban Forestry Urban Greening**, v. 11, n. 4, p. 351-363, 2012.

SALMOND, J. A. et al. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. **Environ. Health**, v. 15 (Suppl 1), p. S36.

SONG, X. P. et al. The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: a systematic review. **Urban Forestry Urban Greening**. v. 29, p. 162-170, 1 jan. 2018.

TALEGHANI, M. Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies: a review. **Renewable Sustainable Energy Rev.** v. 81, Part 2, p. 2011-2018, Jan. 2018.

TIGGES, J.; LAKES, T. High resolution remote sensing for reducing uncertainties in urban forest carbon offset life cycle assessments. **Carbon Balance Management**. v. 12, p. 17, 4 out. 2017.

TRINDADE, J. A.; TERRA, C. G. Árvore, tempo, cidade e a sintaxe dos jardins públicos. In: FIDALGO, P. (Org.) **Dinâmicas da paisagem: entre a realidade e o desejo**. V. 2. Lisboa: HTC - História, Territórios, Comunidades Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa. 2021. Cap. 18. p. 293 – 308.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects 2018: Highlights**. c.2019. Disponível em <https://population.un.org/wup/Publications/>. Acesso em 12 mar. 2022

WANG, Z. et al. Characteristics of carbon storage in Shanghai’s urban forest. **Chinese Science Bulletin**. v. 58, p. 1130–1138, 1 abr. 2013.

WEISSERT, L. F.; SALMOND, J. A.; SCHWENDENMANN, L. A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO2 emissions. **Urban Climate**. v. 8, p. 100-125, June 2014.

WIESEL, P. G. et al. Urban afforestation and its ecosystem balance contribution: a bibliometric review. **Management Environmental Quality**, v. 32, n. 3, p. 443-469, April 2021.

YING, J. et al. Green infrastructure: systematic literature review. **Economic Research-Ekonomska Istrazivanja**, v. 35, n. 1, p. 343-366, 2022.