



XIX ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR
Blumenau - SC - Brasil

DESAFIOS, BENEFÍCIOS E OPORTUNIDADES DA INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL PARA A OBTENÇÃO DE CONFORTO HIGROTÉRMICO URBANO: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA.

MSc. Adriana Colafranceschi Durante (Universidade Federal do Rio de Janeiro -) -
adriana.durante@fau.ufrj.br

Arquiteta e Urbanista, formada pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU/UFRJ). Mestre em arquitetura com ênfase em Conforto Ambiental e Eficiência Energética pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (PROARQ-FAU/UFRJ). Doutoranda no Programa de

Beatriz Cruz Amback (Universidade Federal do Rio de Janeiro -) - beatriz.amback@fau.ufrj.br
Arquiteta e Urbanista, formada pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU/UFRJ). Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da UFRJ (PROARQ-FAU/UFRJ). Participa do grupo de pesquisa Projeto e Representação do Ambiente (PROAMB), do Program

Dra. Virgínia Maria Nogueira de Vasconcellos (Universidade Federal do Rio de Janeiro -) -
virginia.vasconcellos@fau.ufrj.br

PROFESSOR ASSOCIADO da UFRJ. Docente do Quadro Permanente do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ-FAU/UFRJ). Docente do Quadro Permanente do Mestrado Profissional do (PROARQ-FAU/UFRJ). Docente do Corpo Permanente do Curso de Graduação em Compo

Dra. Aline Pires Veròl (Universidade Federal do Rio de Janeiro -) - alineverol@fau.ufrj.br
Professora Adjunta da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ. Professora do corpo permanente do Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PROARQ-FAU/UFRJ) e Convidada do Programa de Engenharia Civil-COPPE/UFRJ. Representante, pela FAU/UFRJ, da Cated

Desafios, benefícios e oportunidades da infraestrutura verde e azul para a obtenção de conforto higrotérmico urbano.

Análise bibliométrica da produção científica.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização pode acarretar mudanças profundas na composição natural da paisagem, alterando intensamente características e funções naturais do ecossistema local e regional. De acordo com Miguez, et al. (2017) a urbanização é uma das ações antrópicas que pode gerar os maiores impactos ambientais, em função da remoção da cobertura vegetal original, do aumento da impermeabilização do solo, da introdução de obras de canalização e da ocupação das margens dos rios. A intensa urbanização induz, também, a ocorrência de mudanças significativas no ciclo natural da água e aumenta a vulnerabilidade da população às enchentes urbanas (FRAGA et al., 2021).

Romero et al. (2019) e Crisostomo et al. (2019) mencionam que a impermeabilização do solo aliada à configuração geométrica da cidade, composta por construções de grande porte com espaçamento inadequado e formação de corredores com baixa capacidade de circulação de ar, resultam em alterações das características climáticas locais, contribuindo para formação das chamadas ilhas de calor, que têm como características a elevação da temperatura do ar, o aumento do estresse térmico humano e a perda de conforto higrotérmico.

Portanto, é de suma importância estudar formas de se obter conforto higrotérmico no ambiente construído, seja nos espaços internos ou externos à edificação. Nos espaços exteriores, ou espaços livres da edificação, deve-se ressaltar a importância da vegetação, em especial das árvores e das forrações, e dos materiais de revestimento no planejamento de projeto urbanos. Entende-se os espaços vegetados como parte da infraestrutura necessária para o bem-estar da população e para o conforto ambiental e higrotérmico urbano, que deve ser levado em consideração no planejamento das cidades. A estética, a garantia de maior permeabilidade do solo, a oferta de sombreamento e as questões ligadas ao afeto, à segurança e ao bem-estar da população, são funções que podem ser realizadas pela vegetação urbana (VERÍSSIMO; VASCONCELLOS, 2019).

Ainda neste contexto, existe também a possibilidade de utilização dos cursos d'água no planejamento de projeto urbano que, além das particularidades como componente físico, desempenham importantes funções no meio urbano: ecológicas, na condição de corredores biológicos e contribuintes na melhoria das condições ambientais; climáticas e estéticas, uma vez que conferem embelezamento, vivacidade e contraste à paisagem. Eles podem ainda ter valor simbólico, dependendo da relação construída pelo indivíduo com às águas urbanas e da memória afetiva de sua vivência com as margens, a exemplo da contemplação visual, do som da correnteza e do contato direto com a fauna e a flora (CORDEIRO; VELASQUES, 2019).

No que se refere aos tipos de infraestrutura urbana, é possível afirmar que a infraestrutura azul corresponde basicamente aos cursos d'água, canais, rios,

lagos, lagoas e outros recursos hídricos, e a infraestrutura verde, aos parques, praças e demais espaços livres naturais. Como as áreas urbanas normalmente contêm menos vegetação e corpos d'água do que as áreas rurais, os espaços verdes e azuis existentes costumam ser ameaçados pelo aumento da densidade populacional (GUNAWARDENA; WELLS; KERSHAW, 2017). A implementação conjunta da Infraestrutura Verde e Azul (IVA) se apresenta como uma solução eficaz para trazer de volta os elementos naturais da paisagem aos centros urbanos e garantir melhorias na obtenção do conforto ambiental e higrotérmico, pois contribui para melhorar o clima urbano por meio da combinação sinérgica de gestão de água e vegetação (WELL; LUDWIG, 2021).

Para Chàfer et al. (2020), as soluções baseadas na natureza (SBN) que abrangem a infraestrutura verde e a infraestrutura azul surgiram como um conceito para operacionalizar uma abordagem de serviços ecossistêmicos e para promover o funcionamento de ecossistemas como espinha dorsal essencial para a mitigação e adaptação às mudanças do clima. Elas têm o potencial de limitar os impactos das mudanças climáticas, aumentar a biodiversidade e melhorar a qualidade ambiental, ao mesmo tempo que contribuem para as atividades econômicas e para o bem-estar social (GADDA et al., 2019). São estratégias importantes para o desenvolvimento de cidades e comunidades mais sustentáveis, pois trazem vários benefícios, incluindo a mitigação de ilhas de calor urbanas (OUYANG et al., 2021). Corroborando essa opinião, Andersen (2021) é categórico ao afirmar que as soluções baseadas na natureza (SBN), comprovadamente, mitigam e resolvem o esgotamento de recursos naturais e desafios relacionados ao clima em áreas urbanas.

Apesar de estudos recentes se voltarem para o campo de interesse aqui abordado, o número de contribuições ainda é escasso quando considerada a relação entre conforto higrotérmico urbano e infraestruturas verdes e azuis, demonstrando que novas possibilidades podem ser exploradas. Assim, o trabalho é movido a responder as seguintes questões: Quais os principais desafios da infraestrutura verde e azul para obtenção de conforto higrotérmico urbano? Quais os principais benefícios da infraestrutura verde e azul para obtenção de conforto higrotérmico urbano? Quais as principais oportunidades/lacunas existentes da infraestrutura verde e azul para obtenção de conforto higrotérmico urbano?

Com o intuito de responder essas questões, o objetivo do artigo é apresentar a análise bibliométrica da produção científica que aborda simultaneamente as temáticas de conforto higrotérmico urbano e de infraestrutura verde e azul e, a partir daí, discutir as questões levantadas e guiar novos estudos, que ampliem a produção acadêmica que discuta e conjugue os temas abordados.

MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta de dados bibliográficos foi realizada através da Plataforma Scopus. A escolha da base de dados se justifica por ela abranger uma fonte referencial da produção científica revisada por pares. Antes de iniciar a busca na referida plataforma, foram definidos os termos a serem pesquisados e os filtros a serem aplicados. Desta forma, as buscas foram limitadas apenas a artigos com publicação em inglês, e as palavras-chave digitadas na busca seguiram o

mesmo idioma. A partir dos resultados encontrados na busca, foram feitos novos ajustes nas filtragens e nas escolhas de palavras-chave, aprimorando os resultados encontrados para melhor adequação ao trabalho. Foi definido que os artigos encontrados deveriam conter os termos procurados no seu título, resumo ou nas suas palavras-chave.

Inicialmente, foram escolhidas as seguintes palavras-chave: “conforto higrotérmico urbano” (*urban hygrothermal comfort*); “higrotérmico urbano” (*urban hygrothermal*); “higrotérmico” (*hygrothermal*); “conforto higrotérmico” (*hygrothermal comfort*); “conforto térmico” (*thermal comfort*); “conforto térmico urbano” (*urban thermal comfort*); “térmica” (*Thermal*); “sistema de drenagem sustentável” (*sustainable drainage system*); “sistema de drenagem” (*drainage system*); “infraestrutura verde e azul” (*blue and green infrastructure*); “infraestrutura verde” (*green infrastructure*); “infraestrutura azul” (*blue infrastructure*); “infraestrutura verde-azul” (*blue-green infrastructure*); “infraestrutura azul-verde-cinza” (*blue-green-gray infrastructure*); “recursos azuis e verdes” (*blue and green features*).

O uso das aspas nas palavras-chave garante resultados mais específicos, pois faz com que a plataforma localize artigos com as exatas expressões digitadas, eliminando o uso das palavras que compõem um único termo, separadamente. Nessa primeira fase de busca, não foi delimitado um período temporal, sendo considerados todos os artigos em inglês presentes na Plataforma, com publicação até 2021. Foram definidas quatro áreas de conhecimento: “Ciência Ambiental” (*Environmental Science*), “Engenharia” (*Engineering*), “Ciência Social” (*Social Sciences*) e “Energia” (*Energy*).

Nessa primeira pesquisa, notou-se que o termo “higrotérmico urbano” (*urban hygrothermal*) só apresentou 1 resultado que consistiu em um papel de conferência, e por isso foi descartado. Verificou-se, ainda, que a consulta com o termo “térmica” (*Thermal*) apresentou resultados de artigos que não tinham pertinência com a pesquisa e por isso o termo também foi descartado. No total, foram desconsiderados os termos “higrotérmico urbano” (*urban hygrothermal*) e “térmica” (*Thermal*) a busca encontrou 22.803 artigos.

Em uma segunda busca, devido ao número expressivo de artigos, optou-se por limitar o período de publicação para 10 anos (2011 a 2021) e ainda assim, foram encontrados 16.351 artigos. Passou-se então para uma terceira etapa, com limite de tempo de 5 anos (2017 a 2021), obtendo-se 10.743 artigos. Ficou evidente que o recorte temporal não seria viável para a pesquisa e diante do número extenso de resultados, fez-se necessário restringir, novamente, o cenário da pesquisa e uma quarta fase de busca foi feita, desta vez, a procura foi realizada associando as expressões inicialmente pesquisadas de forma individual.

As palavras-chave das expressões foram subdivididas em dois grupos, separados por parênteses. Dentro de cada grupo, foram digitados termos considerados pertencentes ao mesmo tema. Cada termo foi digitado entre aspas e separado por “OR”, indicando que não era necessário que o artigo utilizasse todos os termos, mas pelo menos um deles.

Os grupos foram conectados pela palavra “AND”, indicando que os artigos encontrados precisariam necessariamente conter pelo menos uma palavra de cada grupo, considerando qualquer possível combinação.

Grupo 1: (“urban hygrothermal comfort” OR “hygrothermal comfort” OR “hygrothermal” OR “thermal comfort” OR “urban thermal comfort”).

Grupo 2: (“blue and green infrastructure” OR “green infrastructure” OR “blue infrastructure” OR “blue-green infrastructure” OR “blue-green-gray infrastructure” OR “blue and green features” OR “drainage system” OR “drainage systems” OR “sustainable drainage system” OR “sustainable drainage systems”).

Nota-se que o primeiro grupo contém palavras referentes ao conforto higrotérmico, enquanto para compor o segundo grupo foram escolhidas palavras referentes a infraestrutura verde e azul. Portanto, a busca encontrou artigos que integram essas duas temáticas.

As mesmas restrições anteriores foram aplicadas à pesquisa, considerando somente artigos em inglês de 04 áreas: “Ciência Ambiental” (*Environmental Science*), “Engenharia” (*Engineering*), “Ciências Sociais” (*Social Sciences*) e “Energia” (*Energy*). Não foi necessário limitar o ano de publicação, mas os resultados encontrados se estenderam de 2009 a 2021, com um total de 66 artigos. O resultado encontrado nessa última pesquisa foi considerado satisfatório, portanto, partiu-se para as análises das informações dos documentos encontrados.

Foi possível realizar algumas análises com as métricas disponibilizadas pela Plataforma Scopus, portanto, para uma investigação inicial, foram obtidos os gráficos referentes ao ano e país de publicação dentro do grupo de artigos encontrados. Finalizada essa etapa, os dados referentes aos artigos foram exportados em formato CSV e carregados em outro programa para a realização da análise bibliométrica.

Para a análise bibliométrica, foi utilizado o VOSviewer (Center Science and Technology Studies, Luden, Holanda), um *software* gratuito utilizado para construir mapas (agrupamentos) baseados em redes através de técnicas de mapeamento. O programa é capaz de analisar quantitativamente diferentes informações contidas em grupos de dados bibliográficos e exibi-las na forma de gráfico, possibilitando uma fácil visualização e interpretação.

Para essa etapa, optou-se por uma análise ocorrência conjunta de palavras-chave. No mapa gerado pelo *Software*, cada termo é representado por um círculo rotulado dimensionado pelo seu número de ocorrências, enquanto as ligações entre os termos são representadas por linhas cuja espessura indica a força da conexão com base na quantidade de ligações encontradas. As palavras também são automaticamente separadas em grupos, denominados “*clusters*”, com base nas afinidades calculadas pelo próprio *software*.

A análise chegou, inicialmente, a um total de 679 palavras-chave, que estariam agrupadas em 26 grupos. Entretanto, para garantir uma melhor visualização do gráfico, optou-se por considerar somente palavras-chave com o mínimo de duas ligações, o que reduziu a quantidade de termos. Além disso, as palavras semanticamente semelhantes foram mescladas, através da criação de um arquivo “thesaurus”. Alguns exemplos são as palavras “tree” (árvore) e “trees” (árvores), “human” (humano) e “humans” (humanos) e “cities” (cidades) e “city” (cidade). Por fim, foram excluídas as palavras que fugiam do escopo do trabalho como “article” (artigo), “biomass” (biomassa) e nomes de localizações geográficas.

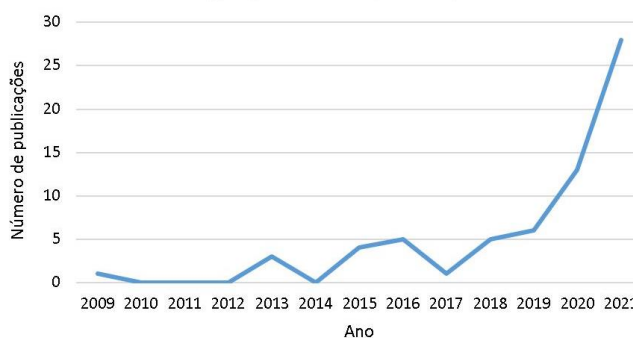
Estabelecidos estes parâmetros, chegou-se a um total de 100 palavras-chave, que foram agrupadas em 5 grupos. O número de grupos foi ajustado com base na definição de um número mínimo de 13 termos por grupo, impedindo a criação de grupos muito pequenos, de difícil interpretação.

Os resultados obtidos pelo mapeamento possibilitaram uma interpretação acerca da literatura científica envolvendo a integração entre ambos os temas de interesse. Além disso a leitura dos artigos encontrados na plataforma fomentou uma discussão acerca dos desafios, benefícios, lacunas/oportunidades e limitações de obtenção de conforto higrotérmico a partir da implementação da infraestrutura verde e azul.

RESULTADOS

Os primeiros resultados significativos obtidos ainda na fase de pesquisa do Scopus foram os gráficos referentes ao ano de publicação dos artigos e aos países que mais publicam sobre os termos pesquisados. Na figura 1, é possível perceber que a primeira publicação encontrada dentro dos parâmetros pesquisados é datada de 2009, entretanto nos três anos subsequentes não houve nenhuma publicação. Em 2013, foram encontradas 3 publicações e no ano seguinte, o número volta a ser nulo, enquanto em 2015 e 2016 o número de publicações é 4 e 5, respectivamente. Em 2017 acontece novamente a queda para apenas 01 publicação, para só em 2018 começar a haver um aumento significativo, passando de 05 para 06 em 2019 e iniciando uma linha ascendente mais acentuada, passando para 13 em 2020 até atingir a marca de 28 publicações em 2021.

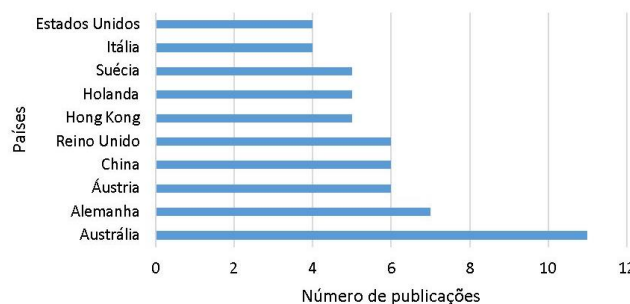
Figura 1 – Artigos por ano de publicação.



Fonte: Elaborado pelas autoras com base no Scopus, 2021.

Quanto aos países de publicação, a figura 2 mostra que os 10 países com mais publicações foram a Austrália, com 11, seguida da Alemanha, com 7, Áustria, China e Reino Unido, com 06, Hong Kong, Holanda e Suécia, com 05, e, por fim, Itália e Estados Unidos, com 04 publicações. Foi encontrada somente uma publicação brasileira.

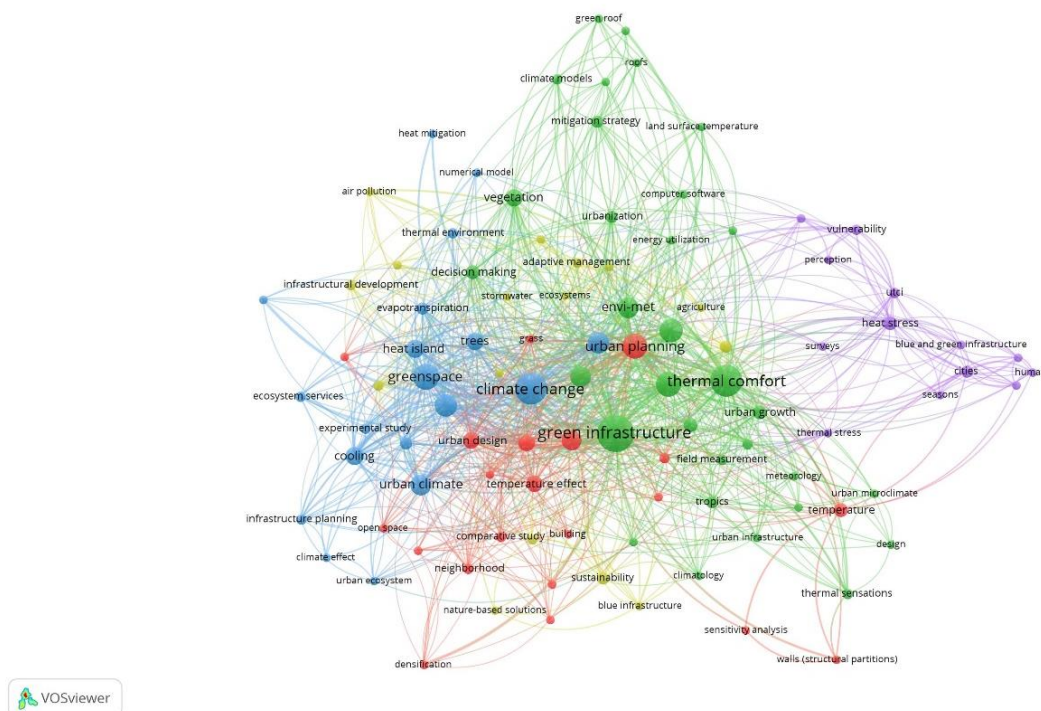
Figura 2 – Artigos por país ou território de publicação.



Fonte: Elaborado pelas autoras com base no Scopus, 2021.

O mapeamento das 100 palavras-chave resultou na criação de cinco grupos (*clusters*), gerados automaticamente pelo VOSviewer com base na afinidade dos termos, medida através das ligações. Conforme observado na figura 3, as palavras-chave referentes aos conceitos de “conforto térmico” (*thermal comfort*) e “infraestrutura verde” (*green infrastructure*) pertencem ao mesmo grupo (grupo verde) e se localizam no centro da figura, exercendo forte ligação com os conceitos de “planejamento urbano” (*urban planning*), ainda na região central, “sustentabilidade” (*sustainability*), localizado na parte inferior da figura, “infraestrutura verde e azul” (*green and blue infrastructure*), localizado na extremidade direita e “mudanças climáticas” (*climate change*) localizada na extremidade esquerda.

Figura 3 – Levantamento bibliométrico em rede.



Fonte: VOSviewer, 2021.

Nota-se que o termo “conforto higrotérmico” sequer foi localizado nas buscas, que por sua vez encontraram o termo similar “conforto térmico”. Cabe frisar que, apesar desses termos serem comumente utilizados como sinônimos, considera-se nesse artigo que o termo “conforto higrotérmico” é mais adequado por ser mais abrangente, considerando a relação da taxa de umidade relativa do ar e a temperatura média radiante, que trabalham relacionadas.

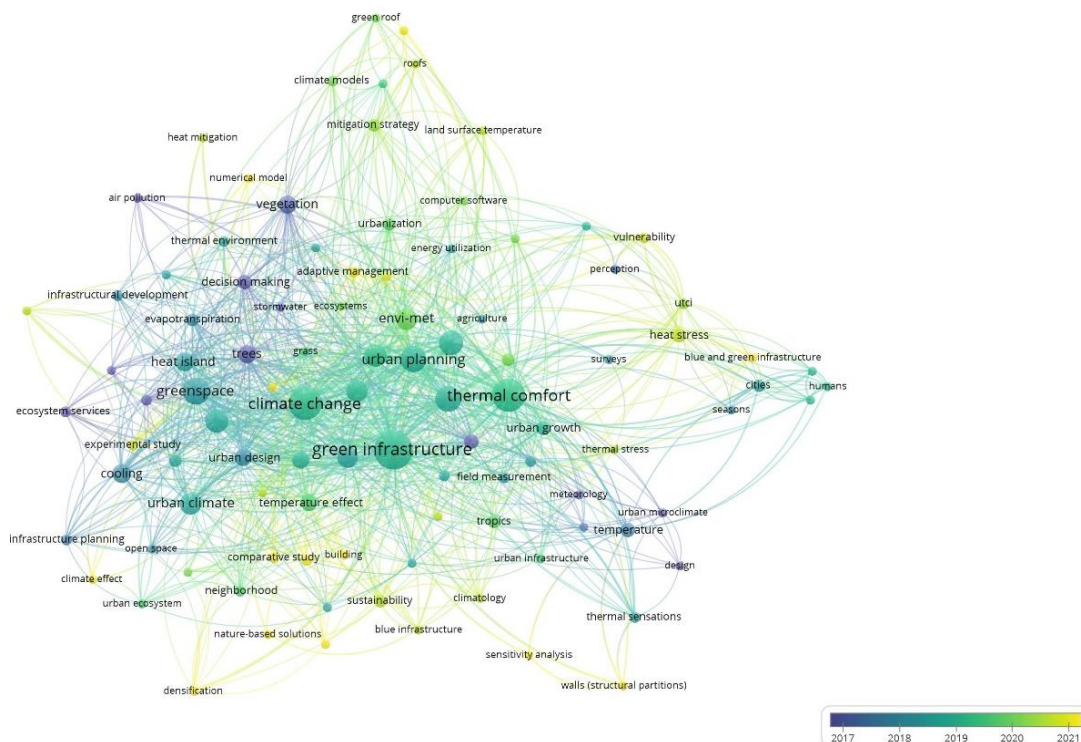
Nos artigos selecionados para o mapeamento, é verificada também uma maior predominância das palavras-chaves “mudanças climáticas” (*climate change*), “infraestrutura verde” (*green infrastructure*), “conforto térmico” (*thermal comfort*), “espaços verdes” (*greenspace*), “microclima” (*microclimate*) e “planejamento urbano” (*urban planning*). O número de artigos encontrados não foi equivalente para cada um dos conceitos, o que explica uma maior tendência de concentração de palavras voltadas à temática de infraestruturas verdes e conforto térmico no grupo verde, afastando o grupo roxo, representado pela palavra-chave “infraestrutura verde e azul” (*blue and green infrastructure*) (Figura

3).

Já na Figura 4, as cores utilizadas no gráfico não representam os grupos, mas a evolução do uso do termo ao longo dos anos. Em roxo, estão os termos empregados há mais tempo na literatura, a exemplo de “vegetação” (*vegetation*), “árvores” (*trees*), “tomada de decisões” (*decision making*) e “serviços ecossistêmicos” (*ecosystem services*). Já em amarelo, estão representados os termos que surgiram em publicações mais recentes, como “análise de sensibilidade” (*sensitivity analysis*), “climate effect” (efeito climático) e “gestão adaptativa” (*adaptative management*). Os termos mais recentes referem-se, no geral, a novos métodos de pesquisa ou conceitos que ganharam força recentemente, muitas vezes por serem considerados mais adequados que termos utilizados antigamente.

A partir dessa figura também é possível observar que alguns termos que apresentam poucas ocorrências foram introduzidos mais recentemente na literatura científica. Os termos “infraestrutura verde e azul” (*blue and green infrastructure*) e “soluções baseadas na natureza” (*nature based solutions*), por exemplo, apresentam baixa ocorrência quando comparados a “green infrastructure”, mesmo sendo semanticamente mais abrangentes. Isso se deve ao fato de “green infrastructure” ser um termo empregado há mais tempo, enquanto os outros dois tiveram o seu surgimento mais recente, ganhando menos destaque.

Figura 4 - Levantamento Bibliométrico de “overlay” com análise temporal.

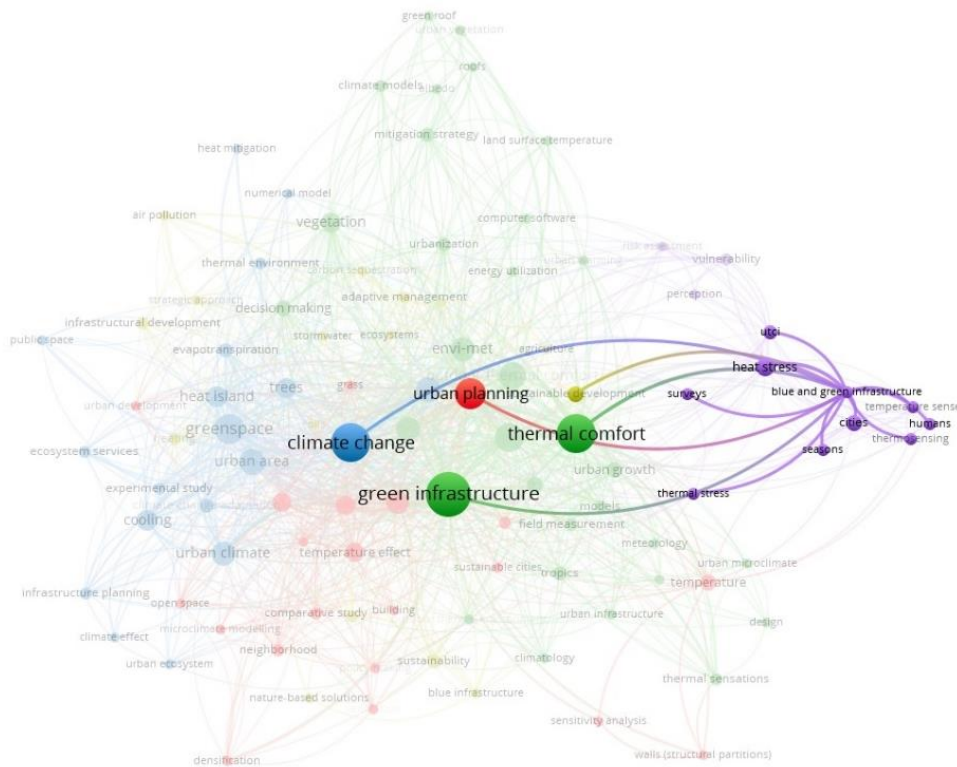


Fonte: VOSviewer, 2021.

Conforme mencionado, cada item mapeado no *Software* possui uma determinada quantidade de ligações, ou seja, as conexões entre as palavras-chave que podem apresentar maior ou menor força de acordo com a espessura de linha. Ao analisar a qualidade de ligações referentes à palavra-chave

“infraestrutura verde e azul” (*blue and green infrastructure*), foram encontradas 14 ligações, demonstradas na figura 5. Partindo destas ligações e dos grupos formados pelo *software*, nota-se que o grupo roxo, representado pela “infraestrutura verde e azul” (*blue and green infrastructure*), possui ligações diretas com os outros quatro grupos gerados pela ferramenta, a partir de suas conexões com as palavras-chaves “conforto térmico” (*thermal comfort*) e “infraestrutura verde” (*green infrastructure*) no grupo verde, “mudança climática” (*climate change*) no grupo azul, “planejamento urbano” (*urban planning*) no grupo vermelho e “desenvolvimento sustentável” (*sustainable development*) no grupo amarelo, todavia, todas as conexões podem ser classificadas como fracas, devido a espessura das linhas que as conectam.

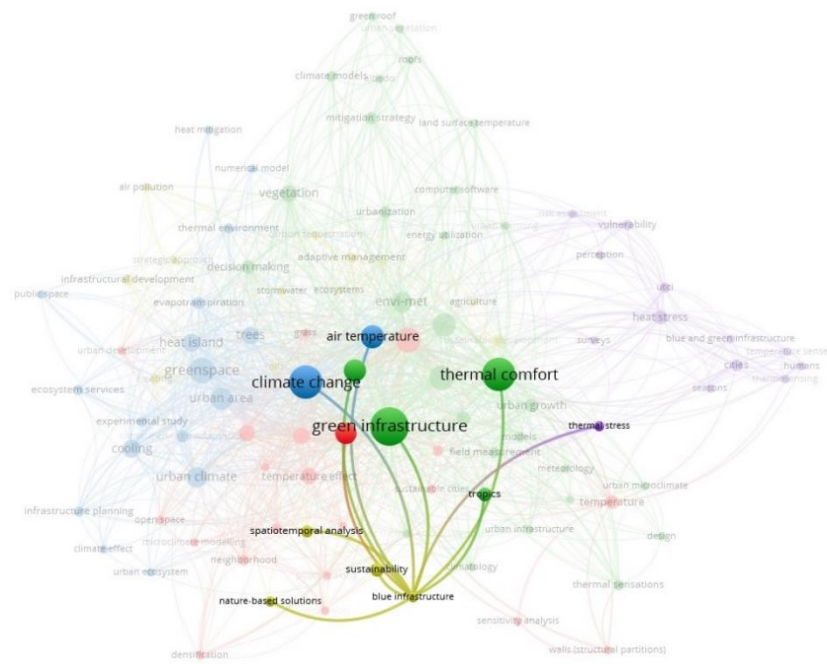
Figura 5 – Ligações de “infraestrutura verde e azul” (*blue and green infrastructure*), grupo roxo.



Fonte: VOSviewer, 2021.

Em relação à palavra-chave “infraestrutura azul” (*blue infrastructure*), foram encontradas 11 ligações, como mostra a figura 6. Nota-se que o grupo amarelo, representado por “infraestrutura azul” (*blue infrastructure*), apresenta relação com todos demais. O termo está conectado às palavras-chaves “conforto térmico” (*thermal comfort*) e “infraestrutura verde” (*green infrastructure*) no grupo verde, “mudança climática” (*climate change*) e “temperatura do ar” (*air temperature*) no grupo azul, “silvicultura” (*forestry*) no grupo vermelho e “estresse térmico” (*thermal stress*) no grupo roxo.

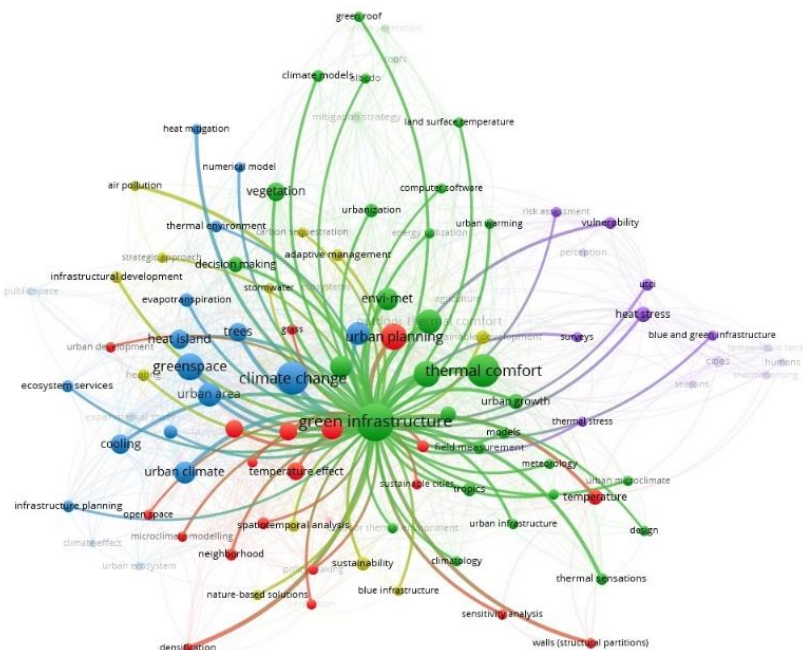
Figura 6 - Ligações de “infraestrutura azul” (*blue infrastructure*), grupo amarelo.



Fonte: VOSviewer, 2021.

Já para a palavra-chave “infraestrutura verde” (*green infrastructure*), 75 ligações foram encontradas, como mostra a figura 7. Nota-se que o grupo verde, representado por “infraestrutura verde” (*green infrastructure*), apresenta diversas ligações com os demais grupos. Essas ligações podem ser classificadas fortes devido à espessura das linhas, demonstrando que essa palavra-chave é a mais recorrente e com o maior número de ligações dentre todas as palavras analisadas na pesquisa. Ela abrange tanto termos bem próximos quanto os mais afastados dentro da figura, demonstrando a sua forte influência.

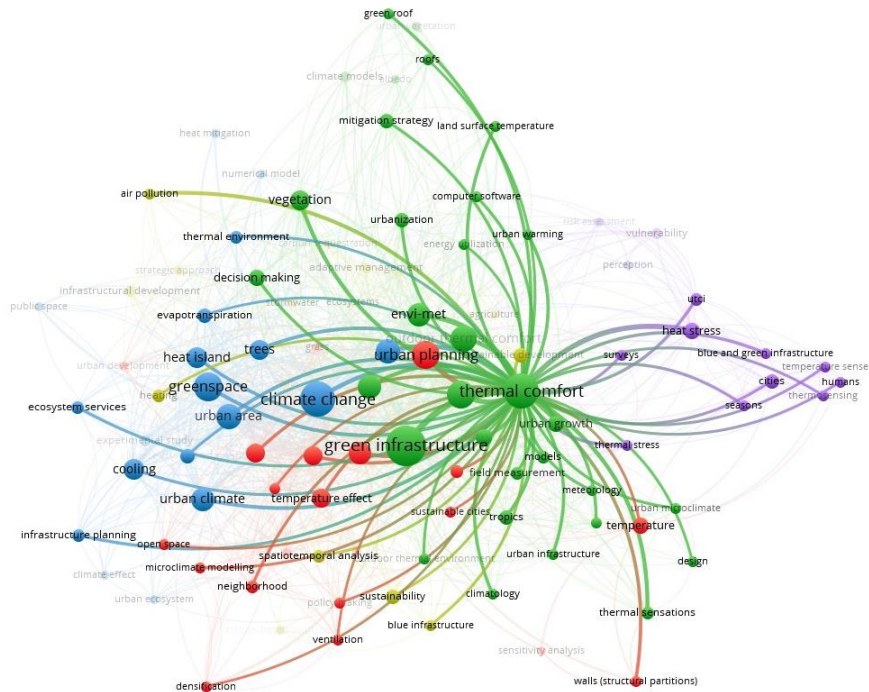
Figura 7 - Ligações de “infraestrutura verde” (*green infrastructure*), grupo verde.



Fonte: VOSviewer, 2021.

A última palavra-chave analisada individualmente foi “conforto térmico” (*thermal comfort*), chegando-se a 69 ligações, como representa a figura 8. Em relação às suas ligações e a sua relação com os grupos, nota-se que esse termo apresenta diversas ligações com os outros quatro grupos gerados pela ferramenta, além de serem ligações fortes. O resultado é semelhante ao encontrado para “infraestrutura verde” (*green infrastructure*), também pertencente ao grupo verde, demonstrando que esse é o grupo com maior poder de integração dos demais.

Figura 8 - Ligações de “thermal comfort” (*conforto térmico*), grupo verde.



Fonte: VOSviewer, 2021.

Após a análise de ligações dos termos de maior interesse, foram investigados os grupos (*clusters*) e as particularidades de cada um.

Grupo verde “cluster 1”: infraestrutura verde (*green infrastructure*) – 32 itens

O grupo verde representado por “infraestrutura verde e azul” agrupa palavras-chave como “albedo”, “condições climáticas”, “modelos climáticos”, “climatologia”, “software de computador”, “tomada de decisão”, “projeto”, “utilização de energia”, “envi-met”, “medição de campo”, “infraestrutura verde”, “telhado verde”, “infraestrutura”, “temperatura da superfície da terra”, “meteorologia”, “microclima”, “estratégia de mitigação”, “modelos”, “conforto térmico externo”, “temperatura externa”, “telhados”, “conforto térmico”, “sensação térmica”, “trópicos”, “crescimento urbano”, “ilhas de calor urbano”, “infraestrutura urbana”, “microclima urbano”, “vegetação urbana”, “aquecimento urbano”, “urbanização” e “vegetação”.

O grupo reúne, portanto, ambos os termos pesquisados e outras palavras associadas a eles. Muitos dos termos encontrados nesse grupo estão associadas a métodos e ferramentas utilizadas em pesquisas que envolvem a temática estudada, outros se referem a áreas de estudo e outros a condições percebidas ou avaliadas no ambiente.

Grupo vermelho “cluster 2”: planejamento urbano (*urban planning*) – 21 itens

O grupo vermelho representado por “planejamento urbano” agrupa palavras-chave como “construção”, “estudos comparativos”, “densificação”, “silvicultura”, “relva”, “conforto térmico humano”, “temperatura radiante média”, “modelagem microclimática”, “vizinhança”, “espaço aberto”, “fisiologia”, “elaboração de políticas”, “avaliação de risco”, “análise sensitiva”, “cidades sustentáveis”, “temperatura”, “efeitos de temperatura”, “projeto urbano”, “desenvolvimento urbano”, “planejamento urbano”, “ventilação” e “muros”.

Dessa forma, o grupo está mais voltado a características físicas do ambiente construído, principalmente envolvendo a urbanização, o planejamento urbano e elementos presentes no ambiente urbano. Nota-se, assim como no grupo verde, a presença de termos associados a métodos e materiais utilizados em pesquisas, como “análise sensitiva” e “avaliação de risco”.

Grupo azul “cluster 3”: mudança climática (*climate change*) – 19 itens

O grupo azul representado por “mudança climática” agrupa palavras-chave como “temperatura do ar”, “adaptação a mudança climática”, “resfriamento”, “serviços ecossistêmicos”, “estudos experimentais”, “espaços verdes”, “ilhas de calor”, “mitigação de calor”, “planejamento de infraestrutura”, “modelagem numérica”, “espaço público”, “ambiente térmico”, “árvores”, “área urbana”, “clima urbano” e “ecossistema urbano”.

Nesse grupo, muitas das palavras encontradas estão relacionadas à mudança climática e ao conforto térmico, mas também são encontradas palavras referentes a elementos e processos naturais e, assim como nos grupos analisados anteriormente, há termos relacionados a ferramentas e métodos de pesquisa. A partir da figura 04, observa-se também que, de modo geral, esse grupo reúne termos mais antigos na literatura.

Grupo amarelo “cluster 4”: infraestrutura azul (*blue infrastructure*) – 16 itens

O grupo amarelo representado por “infraestrutura azul” agrupa palavras-chave como “gestão adaptativa”, “agricultura”, “poluição do ar”, “infraestrutura azul”, “sequestro de carbono”, “ecossistemas”, “aquecimento”, “desenvolvimento de infraestrutura”, “soluções baseadas na natureza”, “escoamento”, “solos”, “análise espaço temporal”, “água de chuva”, “abordagem estratégica”, “sustentabilidade” e “desenvolvimento sustentável”.

As palavras que integram o grupo apresentam um número baixo de ocorrências e estão posicionadas de forma dispersa no gráfico, associando-se principalmente aos grupos verde e azul. Semanticamente, referem-se a elementos naturais, estratégias de mitigação e impactos ambientais.

Grupo roxo “cluster 5”: infraestrutura verde e azul (*blue and green infrastructure*) – 13 itens

O grupo roxo representado por “infraestrutura verde e azul” agrupa palavras-chave como “cidades”, “estresse por calor”, “humanos”, “percepção”, “avaliação de risco”, “estações do ano”, “pesquisas”, “sensação térmica”, “estresse térmico”, “termo sensor”, “utci – índice universal de clima térmico” e “vulnerabilidade”.

Nota-se que os termos do grupo roxo apresentam um baixo número de ocorrências e estão afastados dos demais grupos, apresentando forte relação entre si. As palavras referem-se a mudanças climáticas, trazendo também palavras associadas à importância da percepção das pessoas nas pesquisas.

DISCUSSÃO

Essa pesquisa trouxe à tona questões relevantes a respeito da obtenção do conforto higrotérmico urbano através da utilização da infraestrutura verde e azul. Palavras como “estresse por calor”, “análise espaço temporal”, “avaliação de risco” e “tomada de decisão” destacam a preocupação com a análise de viabilidade, o que mostra que as intervenções de projeto devem considerar apropriadamente o contexto local, a disponibilidade de recursos naturais como a temperatura, vegetação e o clima urbano e a seleção de infraestrutura adequada, atendendo às necessidades específicas de cada área urbana e do seu público para fornecer benefícios representativos e múltiplos.

Nesse contexto, propõe-se a uma discussão acerca de três questões: Quais são os principais desafios da infraestrutura verde e azul para a obtenção do conforto higrotérmico urbano? Quais são os principais benefícios da infraestrutura verde e azul para a obtenção do conforto higrotérmico urbano? Quais são as principais oportunidades/lacunas da infraestrutura verde e azul para a obtenção do conforto higrotérmico urbano? A discussão foi realizada com base na leitura dos artigos encontrados na pesquisa bem como nos resultados da análise bibliométrica

Ressalta-se que não há uma resposta única, objetiva e/ou simplificada, para as questões propostas. As decisões tomadas e a implantação das infraestruturas verdes e azuis devem ser pensadas de maneira a adequar-se às mais diversas situações climáticas, aos mais diversos tipos de topografia e relevo local e às características construtivas da área de implantação, levando-se em conta também a cultura local e os custos de implantação e manutenção.

Quais os principais desafios da infraestrutura verde e azul para obtenção de Conforto higrotérmico urbano?

A partir da leitura dos artigos e da análise dos resultados, foram destacados três desafios associados ao uso da infraestrutura verde e azul para obter conforto higrotérmico. O primeiro está relacionado à poluição do ar, o segundo à diversidade de condições locais e o terceiro à dificuldade de realizar medições em ambientes externos.

Uma das palavras-chave encontradas na análise bibliométrica foi “qualidade do ar” (*air quality*), o que mostra que essa característica é uma das

preocupações em estudos de conforto térmico envolvendo infraestrutura verde e azul. Apesar de ter um baixo número de ocorrências, o termo apresenta forte relação com os termos “infraestrutura verde” e “conforto térmico”.

A má qualidade do ar é uma consequência do aumento de temperatura no meio urbano, uma vez que as temperaturas ambientes elevadas aumentam as reações fotoquímicas com hidrocarbonetos e ozônio (SANTAMOURIS; OSMOND, 2020). Portanto, ao garantir o conforto higrotérmico de um ambiente, previne-se também a deterioração da qualidade do ar e a emissão de poluentes nocivos.

O segundo desafio apontado refere-se à necessidade de considerar as particularidades locais. Aponta-se que a eficácia da infraestrutura verde na obtenção do conforto higrotérmico pode variar de acordo com as particularidades do recorte geográfico em que é implantada (BOCHENEK; KLEMM, 2020). Isso justifica a necessidade da elaboração de diagnósticos precisos e detalhados, bem como a de uma ampla produção científica na área que dê suporte a todas essas condições.

A partir dos termos encontrados nos resultados, nota-se que há diversos métodos e ferramentas utilizados para medição do conforto higrotérmico, envolvendo softwares computacionais, medição em campo, estudos experimentais e estudos comparativos assim como estudos que avaliam a percepção individual do conforto. A grande variedade de métodos disponíveis para avaliação do conforto higrotérmico pode ter surgido a partir da dificuldade em fazê-lo de forma precisa, o que gerou a necessidade do surgimento de diferentes ferramentas e procedimentos que atendem diferentes tipos de estudo.

Por fim, é apontada a dificuldade de realizar medições precisas em ambientes externos, representados na análise bibliométrica pelo termo “espaço livre” (*open space*). Os espaços livres de edificações têm múltiplas funções nas cidades e podem reunir diversas atividades ao ar livre para a população.

Segundo Gatto et al (2020), as variações microclimáticas espaciais e temporais costumam ser maiores e mais complexas em áreas externas, o que dificulta a sua medição. Além disso, o autor aponta que a medição do conforto higrotérmico nessas áreas não envolve somente questões climáticas, como também comportamentais, visto que a atividade exercida no espaço também exerce influência sobre a sensação de conforto térmico.

Quais os principais benefícios da infraestrutura verde e azul para obtenção de Conforto higrotérmico urbano?

Nos resultados da análise bibliométrica, o termo “infraestrutura verde” está associado a termos relacionados à vegetação, temperatura da superfície do solo, redução da temperatura e ilhas de calor, o que comprova que a literatura científica se preocupa em estudar a relação entre esse tipo de estratégia e o conforto ambiental.

A infraestrutura verde é capaz de alcançar reduções de temperatura na área urbana, consequentemente mitigando os riscos do calor urbano. O uso da vegetação melhora a qualidade do ar no nível da rua a partir da filtragem de poluentes, alcançando também redução de temperatura através da evapotranspiração e do sombreamento (CHÂFER et al., 2020).

Muitos dos artigos presentes na revisão bibliométrica avaliam o efeito desse tipo de solução na mitigação de temperatura. O trabalho de Gatto et al (2020), por exemplo, demonstrou através da aplicação de dois índices que o aumento da cobertura vegetal é capaz de reduzir a temperatura radiante média, principalmente no verão em cidades com diferentes características climáticas.

O emprego da infraestrutura verde também é capaz de influenciar na mitigação de cheias, visto que aumentam a permeabilidade do solo. Entretanto, esse benefício é tratado pelos autores como secundário, já que o foco dos trabalhos está na obtenção do conforto higrotérmico. A gestão de cheias urbanas ganha maior destaque em trabalhos que abordam a infraestrutura verde e azul ou as soluções baseadas na natureza, uma vez que esses termos abrangem uma maior gama de estratégias e, conseqüentemente, um maior número de benefícios.

Além dos benefícios ambientais, aponta-se que a infraestrutura verde e/ou azul também traz ganhos para o bem-estar humano e para o aumento da biodiversidade. Alguns desses benefícios são o relaxamento psicológico, alívio do estresse e coesão social (CÁRDENAS et al., 2021). Nota-se que, na revisão bibliométrica, não foram encontrados termos associados aos demais benefícios da infraestrutura verde e azul, como a melhora da qualidade de vida e o aumento da biodiversidade. Mesmo que esses benefícios sejam mencionados nos trabalhos, eles não apresentam grande relevância, portanto não fizeram parte do gráfico gerado pelo VOSviewer.

Quais as principais oportunidades/lacunas existentes da infraestrutura verde e azul para obtenção de Conforto higrotérmico urbano?

Uma das lacunas identificadas a partir da leitura dos trabalhos são as múltiplas escalas de aplicação. Wang et al (2021) nota que poucos trabalhos buscam determinar a estratégias de infraestrutura verde urbana adequada em todas as escalas. Dessa forma, seu trabalho simula um microclima, a partir do conceito de Zona Climática Local, com o objetivo de melhorar a ilha de calor urbano superficial e o conforto higrotérmico nas cidades.

É apontada a necessidade de avaliar até que ponto a infraestrutura verde e/ou azul traz benefícios para o conforto higrotérmico, bem-estar social e saúde urbana (SANTAMOURIS; OSMOND, 2020). Portanto, uma oportunidade percebida está no desenvolvimento e aprimoramento de métodos de quantificação desses impactos.

Também é notada a precisão de mais estudos que correlacionem o conforto higrotérmico urbano a partir da utilização da infraestrutura verde e azul e que analisem simultaneamente os resultados obtidos no período diurno e no noturno, uma vez que podem haver contradições de sua eficiência dependendo do período analisado (GÁL et al., 2021).

A literatura científica que estuda conjuntamente as temáticas de infraestrutura verde e azul e conforto higrotérmico apresentou um crescimento significativo apenas nos últimos anos, permanecendo ainda com um número de estudos pouco expressivo. Essa situação pode justificar as lacunas apresentadas por esses autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo mapear as publicações que abordam as temáticas de conforto higrotérmico urbano e infraestrutura verde e azul utilizando a base de dados da plataforma Scopus e o *software* VOSviewer, para responder, inicialmente, a três questões básicas levantadas.

Verificou-se que embora existam muitos estudos de forma isolada para os termos estudados (22.803 artigos), há poucos estudos que englobam simultaneamente os termos pesquisados (66 artigos), além do fato de as publicações dos trabalhos conjuntos encontrados serem muito recentes, com um crescimento significativo somente nos últimos dois anos. Dessa forma, sugere-se um esforço especial na construção de parcerias entre as instituições para aumentar o impacto e a produtividade da pesquisa científica, e promover o conhecimento científico e a formação de recursos humanos para o tema.

Reforça-se a necessidade de que equipes multidisciplinares de arquitetos, paisagistas, engenheiros, entre outros, possam contribuir para a promoção de um ambiente urbano mais saudável e eficiente. A união entre os diversos saberes, como contraponto ao hiato entre as profissões, pode promover renovações relevantes à arquitetura da paisagem e contribuir para uma maior integração entre as questões estéticas e formais, garantindo o correto funcionamento dos dispositivos e a sua melhor integração ao clima urbano.

O estudo aponta que a infraestrutura verde e azul reposiciona o espaço aberto como um dos elementos vitais para que as cidades possam ser revitalizadas, tanto ecológica como social e economicamente. Ela abre novas fontes de investimentos e oportunidades de trabalho e engaja novos parceiros e aliados, além de conferir ao espaço uma qualidade estética mais agradável de ser observada.

Ainda que a implantação da infraestrutura verde e azul proporcione uma série de benefícios para a obtenção de conforto higrotérmico urbano, existem entraves econômicos devido principalmente à falta de interesse das políticas públicas que destinam pouco ou nenhum recurso para criação e manutenção de áreas livres que possam abrigar a vegetação e a água, o que pode ser classificado como um grande desafio para a integração dos dois conceitos em escala significativa.

A análise em apenas uma Base de dados é uma limitação que poderá ser sanada em futuras pesquisas com a inclusão de artigos de outras bases que não pertençam ao Scopus, ou até mesmo em Bases não tão tradicionais para buscar artigos que não estejam no círculo tradicional de pesquisa, mas que possam trazer contribuições relevantes para o tema. Apesar dessa limitação, este trabalho contribui na identificação de abordagens nesta temática, assim, ele é pertinente para o período analisado, mas as avaliações devem ser constantes e periódicas, visto que as bases de dados se atualizam diariamente.

REFERÊNCIAS

BOCHENEK, A. D.; KLEMM, K. The impact of passive green technologies on the microclimate of historic urban structures: The case study of Iodz. **Atmosphere**, v. 11, n. 9, 2020.

CÁRDENAS, M. L. et al. The circular benefits of participation in nature-based solutions. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 8, 2021.

CHÀFER, M. et al. Greenery system for cooling down outdoor spaces: Results of an experimental study. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 15, 2020.

CORDEIRO, B. B.; VELASQUES, A. B. A. A ÁGUA COMO ELEMENTO COTIDIANO EM PAISAGENS URBANAS: O Córrego Brejo Comprido em Palmas - TO. **Anais XVIII ENANPUR 2019. Geografia no Século XXI**, v. 5, 2019.

CRISOSTOMO, N. C. et al. Ilhas de Calor Urbana: Influência da Arborização na Amenização Climática em Juazeiro do Norte, Ceará. **Editoraverde.Org**, v. 13, n. August, p. 36–43, 2019.

FRAGA, J. P. R. et al. Cost-benefit analysis of sustainable drainage systems considering ecosystems services benefits: case study of canal do mangue watershed in Rio de Janeiro city, Brazil. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 20 out. 2021.

GADDA, T. M. C. et al. Trajetória do conceito soluções baseadas na natureza e a relação com o Brasil: Uma análise bibliográfica. In: **Anais XVIII ENANPUR 2019. Geografia no Século XXI**. [s.l.] Editora Poisson, 2019. v. 5.

GÁL, T. et al. Numerical modelling for analysis of the effect of different urban green spaces on urban heat load patterns in the present and in the future. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 87, 2021.

GATTO, E. et al. Impact of Urban vegetation on outdoor thermal comfort: Comparison between a Mediterranean city (Lecce, Italy) and a northern European city (Lahti, Finland). **Forests**, v. 11, n. 2, 2020.

GUNAWARDENA, K. R.; WELLS, M. J.; KERSHAW, T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. **Science of the Total Environment**, v. 584–585, p. 1040–1055, 2017.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires e REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 366 p.

ORAL, H. V. et al. Management of Urban Waters with Nature-Based Solutions in Circular Cities—Exemplified through Seven Urban Circularity Challenges. **Water**, v. 13, n. 23, p. 3334, 24 nov. 2021.

OUYANG, W. et al. Thermal-irradiant performance of green infrastructure typologies: Field measurement study in a subtropical climate city. **Science of the Total Environment**, v. 764, p. 144635, 2021.

ROMERO, M. et al. **Mudanças Climáticas e Ilhas de Calor Urbanas**. 1 ed. Brasília, Distrito Federal: Editora: ETB, 2019.

SANTAMOURIS, M.; OSMOND, P. Increasing green infrastructure in cities: Impact on ambient temperature, air quality and heat-related mortality and morbidity. **Buildings**, v. 10, n. 12, p. 1–34, 2020.

VERÍSSIMO, L. D. F.; VASCONCELLOS, V. M. N. DE. A vegetação na evolução urbana do Centro do Rio de Janeiro: os espaços livres privados. **XXIII Congresso XXXVIII Encontro Arquisur - A produção da cidade contemporânea no cone sul: desafios e perspectivas da Arquitetura e do Urbanismo**. Universidade Federal de Minas Gerais, v. 1, n. 2009, 2019.

WANG, Y. et al. A practical approach of urban green infrastructure planning to mitigate urban overheating: A case study of Guangzhou. **Journal of Cleaner Production**, v. 287, 2021.

WELL, F.; LUDWIG, F. Development of an integrated design strategy for blue-green architecture. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 14, 2021.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) [Código de Financiamento 001] e da FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (E-26/201.404/2021). Os autores também agradecem à Cátedra UNESCO de “DRENAGEM URBANA EM REGIÕES DE BAIXADA COSTEIRA” da Universidade Federal do Rio de Janeiro, ao qual este trabalho está vinculado.