



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

SANEAMENTO COMO INSTRUMENTO DE ADAPTAÇÃO À EMERGÊNCIA CLIMÁTICA: UM OLHAR PARA A REGIÃO PCJ, SUDESTE BRASILEIRO

Júlia Carolina Fatuch, FECFAU Unicamp, j026968@dac.unicamp.br
Gabriela Mugnol Ventura, FECFAU Unicamp, g155503@dac.unicamp.br
Emília Wanda Rutkowski, FECFAU Unicamp, emilia@fec.unicamp.br
Mariana Rodrigues Ribeiro dos Santos, FECFAU Unicamp, mariana@fec.unicamp.br
Ricardo de Lima Isaac, FECFAU Unicamp, isaac@unicamp.br

Resumo

As mudanças climáticas apresentam um desafio para o saneamento, principalmente com relação ao abastecimento de água, podendo alterar a disponibilidade e qualidade dos corpos hídricos. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo identificar ações para adaptação aos efeitos das mudanças do clima, para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), que abrangem um território com intensa demanda hídrica. Para tanto, foi realizada pesquisa nas principais bases de dados científicas, que pudessem contribuir para a categorização de estudos e ações em bacias urbanizadas. A maioria dos artigos se refere à drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, com lacunas em relação ao impacto qualitativo. Dentre as ações para a adaptação são recomendáveis a utilização de ferramentas de suporte ao planejamento urbano, boas práticas na gestão de águas pluviais, ampliação do tratamento de água e fortalecimento de políticas públicas para preservação e recuperação ambiental.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, abastecimento público, urbanização.

1. Introdução

As bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ) estão localizadas em uma região de intenso crescimento econômico e população superior a 5 milhões de habitantes, abrangendo o território de 76 municípios. São 71 municípios no interior do estado de São Paulo e 5 ao sul do estado de Minas Gerais. As demandas hídricas para o abastecimento público e industrial e irrigação são crescentes, tendo sido constatada redução de disponibilidade hídrica em alguns municípios e déficit hídrico em regiões com elevada atividade industrial (COMITÊS PCJ, 2020).

Embora a quantidade de mananciais seja expressiva, a retirada de parte significativa do volume de água para abastecer o Sistema Cantareira da Região Metropolitana de São Paulo deixou as bacias PCJ em uma situação bastante vulnerável durante a crise hídrica de 2014-2015, no estado de São Paulo, decorrente da baixa precipitação no período chuvoso 2013-2014. Mais recentemente, uma das orientações para a gestão das bacias é incentivar discussões sobre medidas de adaptação a cenários que considerem a mudança do clima (COMITÊS PCJ, 2021). Em 2021, a preocupação com a estiagem tem ocorrido novamente, afetando diversos estados do Brasil, resultante de um período de intensas queimadas que se alastraram pelo país, principalmente na Amazônia e Pantanal, levando a Agência Nacional de Águas a lançar o alerta de seca extrema (ANA, 2021).

O mais recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas aponta que o aquecimento global contínuo deve impactar ainda mais o ciclo global da água (IPCC,



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

2021), impondo uma pressão adicional nas bacias urbanas sob estresse hídrico, podendo intensificar tanto a escassez de água como a deterioração de sua qualidade (TALAT, 2021). RIPPLE *et al.* (2021) alertam, desde 2019, sobre a emergência da situação climática, com destaque para a disponibilidade de água potável. Sugerem campanhas públicas e a adoção de medidas locais de adaptação.

A preocupação com o abastecimento público também foi agravada com a pandemia da Covid-19. No início, alguns estudos demonstraram melhoria na qualidade da água, como consequência da redução da poluição, resultante da diminuição das atividades produtivas pelo isolamento espacial (SHAKIL *et al.*, 2020). No entanto, as medidas de restrição de deslocamento e isolamento espacial provocaram um aumento no padrão de consumo da água em vários países, podendo exigir mudanças no planejamento do abastecimento público (ABUBAKAR; WILLIAMS; HALLETT, 2021 e LÜDTKE *et al.*, 2021).

Para compreender como adaptar o ciclo antrópico das bacias PCJ à emergência climática, o presente trabalho tem como objetivo analisar a produção bibliográfica nacional na última década que propõe medidas adaptativas à nova situação climática.

2. Fundamentação teórica

2.1 Mudanças climáticas e políticas públicas para adaptação no Brasil

A Política Nacional sobre a Mudança do Clima foi instituída através da Lei Federal nº 12.187 de 2009 e possui como alguns de seus objetivos, conforme descrito em seu artigo 4º, a implementação de medidas para promover a adaptação à mudança do clima, a preservação, conservação e recuperação dos recursos ambientais, e a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático. A adaptação, por sua vez, é definida como um conjunto de iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima (BRASIL, 2009).

Em 2016, foi publicado o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, o qual propõe ações, estratégias e diretrizes que objetivam a gestão e a diminuição do risco climático no Brasil, frente aos efeitos adversos da mudança do clima, no contexto social, econômico e ambiental (MMA, 2016).

Em estudo realizado em seis grandes cidades brasileiras, foi discutido o que tem sido implementado em termos de prática de adaptação nas grandes cidades brasileiras e os aspectos mais críticos. Tal trabalho compreendeu a revisão de políticas ambientais e urbanas e análise de legislação, bem como a entrevista com atores que trabalham em diversos departamentos nas cidades escolhidas, com foco em políticas de mudanças climáticas. A avaliação apontou fatores que interferem negativamente na implantação da adaptação nas cidades brasileiras, como a falta de vontade política, práticas administrativas, falta de definição de responsabilidades e prioridades, nível de comprometimento e interferências do setor privado (DI GIULIO *et al.*, 2019).

Através de uma análise comparativa de uma pesquisa conduzida em seis países da América Latina, foram identificadas deficiências na produção de conhecimento que afetam a implantação de políticas de adaptação às mudanças climáticas. Observou-se que há uma dificuldade em todos os países entrevistados em definir o conceito de política de adaptação.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

Consequentemente, a escolha de indicadores e ferramentas para o monitoramento e avaliação de políticas de adaptação fica prejudicada. (RYAN; BUSTOS, 2019)

2.2. Impacto das mudanças climáticas no saneamento

Os impactos das mudanças climáticas em corpos hídricos não são poucos e afetam o saneamento. Em termos quantitativos, pode ocorrer a redução na disponibilidade hídrica com a diminuição da precipitação. Qualitativamente, por sua vez, pode ocorrer a maior concentração de poluentes, em razão da menor disponibilidade hídrica para a diluição dos mesmos, agravado com a redução das concentrações de oxigênio dissolvido nas águas por aumento da temperatura. Algumas medidas sugeridas na literatura são: investimento em coleta e tratamento de esgoto; programa de redução de perdas com racionalização do uso; e monitoramento da quantidade e qualidade da água nos mananciais. (DANLADI BELLO; HASHIM; MOHD HANIFFAH, 2017 e ANA, 2016).

Emelko *et al.* (2011) acompanharam o processo de recuperação de uma bacia hidrográfica canadense após um grave incêndio florestal. Após quatro anos, as Estações de Tratamento de Água (ETA) ainda tinham gastos elevados para retirar os excedentes de carbono e nutrientes liberados no sistema de adução. Concluem que as ETA atuais requerem adaptações projetuais para lidar com eventos extremos que acarretam variações na qualidade da água a ser captada.

A fim de avaliar a vulnerabilidade do sistema de tratamento de água às mudanças climáticas, foram utilizados cenários para projetar as mudanças climáticas no período de 2006 a 2050 e modelos para prever a concentração de carbono orgânico total. Verificou-se que a previsão é de uma concentração 7 vezes superior às condições atuais. Nesse sentido, a ETA objeto da pesquisa não teria condições de prover água potável que atenda aos padrões requeridos (HASHEMPOUR *et al.*, 2020).

Através de uma avaliação de ecossistemas aquáticos com relação à sua vulnerabilidade às mudanças climáticas em bacias hidrográficas em diferentes países europeus, foram simuladas as concentrações de nutrientes (nitrogênio e fósforo totais) e clorofila. Verificou-se que, em algumas regiões, as concentrações são afetadas, principalmente, com as modificações no uso do solo, seja por conversão das áreas florestadas em áreas de cultivo agrícola, ou pela expansão das áreas urbanas, ocasionando maior volume de esgoto. Já na região do mar Mediterrâneo, foi apontado como principal fator na alteração da qualidade da água, a influência das mudanças climáticas. As variações de nutrientes e clorofila, com o aumento da temperatura, podem resultar no excesso de algas em corpos hídricos, resultando em problemas de eutrofização e impactando o tratamento da água (MACK *et al.*, 2019).

Estudos envolvendo simulações com cenários de mudanças climáticas em diversas bacias hidrográficas brasileiras também apontam que, apesar das incertezas, as mesmas podem sofrer sérios impactos quanto à disponibilidade hídrica em condições climáticas extremas (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019 e TIEZZI *et al.*, 2018).

3. Metodologia

A fim de se obter um panorama do que tem sido estudado sobre o impacto das mudanças climáticas e seus efeitos em bacias hidrográficas com características urbanas, foi realizada uma pesquisa de abordagem qualitativa, sendo que a metodologia utilizada neste trabalho consistiu



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

em uma revisão na literatura em revistas indexadas, através das bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, com os tópicos: “river basin” ou “watershed”; “climate change”; “Brazil” e “urban”. A pesquisa foi realizada no primeiro semestre de 2021 e o período selecionado foi entre 2016 e 2021. Essa primeira busca resultou em 59 artigos. Desse grupo foram mantidos os artigos sobre bacias em áreas urbanas continentais, resultando em 21 artigos.

4. Resultados

Os artigos selecionados foram organizados quanto a tipologia de problemas em relação às mudanças climáticas e saneamento apontando aspectos quali-quantitativos do recurso hídrico e as ações adaptativas propostas. O Quadro 1 apresenta a área de estudo e a tipologia de problema estudado e o Quadro 2 os aspectos quali-quantitativos e as ações adaptativas propostas.

Quadro 1. Artigos selecionados por área de estudo e tipologia de problema.

Nº	Autores	Bacia e região	Principal item/problema urbano abordado
1	CAPRARIO; FINOTTI, 2019	não especificou (sudeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
2	CERQUEIRA <i>et al.</i> , 2019	Rio Cachoeira (nordeste)	Falta de tratamento de esgoto e urbanização na bacia
3	DA SILVA <i>et al.</i> , 2018	Bacia do Rio Anhangabaú (sudeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
4	DE MEDEIROS <i>et al.</i> , 2017	Ribeirão Quilombo (sudeste)	Alteração da qualidade da água
5	FERREIRA <i>et al.</i> , 2019	Riacho das Piabas (nordeste)	Prejuízo aos serviços ecossistêmicos
6	FRIES <i>et al.</i> , 2019	Bacia da Baía de Guanabara (sudeste)	Alteração da qualidade da água
7	GONZÁLEZ-BRAVO <i>et al.</i> , 2020	Rio Guandu (sudeste)	Modificação dos cursos de água e sua integração às instalações de produção de energia
8	MANSUR <i>et al.</i> , 2016	Amazônica (norte)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

9	MEDEIROS DE SABOIA MARCOS <i>et al.</i> , 2020	não especificou (nordeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
10	MELLO <i>et al.</i> , 2020	não especificou	Alteração da qualidade da água
11	MIGUEZ; VERÓL, 2016	Rio Iguaçu-Sarapuí (sudeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
12	MOURA REZENDE <i>et al.</i> , 2019	Bacia urbana no Rio de Janeiro (sudeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
13	MOURA; PELLEGRINO; MARTINS, 2016	Ribeirão dos Meninos e Araçatuba (sudeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
14	NUNES CARVALHO; DE SOUZA FILHO; MEDEIROS DE SABÓIA, 2020	não especificou (nordeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
15	PACHECO <i>et al.</i> , 2017	Rio Paraíba do Sul (sudeste)	Alteração da qualidade da água
16	REZENDE <i>et al.</i> , 2019	Bacia do Canal do Mangue (sudeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
17	RODRIGUES; JACOBI; FIGUEIRA, 2019	Microbacias do Parque Estadual da Serra do Rola-Moça (sudeste)	Abastecimento de água
18	SEIDL <i>et al.</i> , 2020	Bacias do lago Pampulha (sudeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
19	YOUNG; JORGE PAPINI, 2020	Ribeirão das Cabras (sudeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
20	ZAMBRANO; PACHECO-MUÑOZ; FERNANDEZ, 2016	Alto Tietê (sudeste)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas
21	ZANDONADI <i>et al.</i> , 2016	Rio Paraná (sul)	Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas e deslizamento de terra



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Destaca-se que os artigos que abordaram temas como riscos de enchentes ou inundações, capacidade de infiltração e escoamento superficial foram classificados como “manejo das águas pluviais urbanas”, que compõem as instalações operacionais e serviços públicos de saneamento básico.

Quadro 2. Interferência das mudanças climáticas em parâmetros qualitativos e/ou quantitativos e ações propostas como forma de adaptação às mudanças climáticas.

Nº	Influência na quantidade/qualidade da água	Ação para adaptação
1	Quantidade - proposta uma metodologia de mapeamento de áreas urbanas suscetíveis a ocorrência de inundações.	Aplicação da metodologia para auxiliar na gestão participativa e tomada de decisão, como em processos de zoneamento urbano e prevenção de desastres naturais, por exemplo.
2	Qualidade - uso do solo com a urbanização mostrou forte relação com concentração de íon amônio e fosfato.	Não especificou uma ação, apenas indicou a necessidade de preservação e recuperação dos rios da bacia.
3	Quantidade - utilização de modelagem para representar todos os sistemas rodoviários e de drenagem e suas conexões, em diferentes cenários de chuvas e mudanças climáticas.	Utilização de sistema de armazenamento de água distribuído, que pode ser útil em alguns cenários, mas não em casos extremos.
4	Qualidade - poluição difusa causada pela expansão urbana e redução das áreas verdes, além da descarga pontual de esgoto não tratado de município na bacia.	Monitoramento e controle da qualidade da água na rede de drenagem pluvial e na rede coletora de esgoto, a fim de identificar lançamentos clandestinos de efluentes domésticos.
5	Quantidade e qualidade - a urbanização gera vulnerabilidade às mudanças climáticas globais, que podem afetar a oferta de serviços ecossistêmicos pelo agreste, afetando a provisão de água, tanto em termos de disponibilidade quanto de qualidade.	A melhor compreensão do uso e ocupação do solo pode auxiliar a guiar políticas e ações que requerem tomada de decisão.
6	Qualidade - o artigo apresenta um relatório com indicadores que possam avaliar a saúde ambiental do ecossistema estudado.	Foi proposto um plano de ação bem detalhado para atingir as metas de restauração da bacia, que envolvem desde a ampliação do tratamento de água, educação e ações de fiscalização. Foi proposta a gestão adaptativa, para permitir melhorias de avaliação de desempenho e ajustes nas ações de recuperação.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

7	Quantidade - alteração na vazão nas sub-bacias, de acordo com os cenários considerando os efeitos das mudanças climáticas, expansão urbana e transferência de água.	Não consta, mas chama a atenção para a alteração dos padrões de precipitação que devem reduzir a disponibilidade hídrica na bacia.
8	Quantidade - analisa a quantidade de pessoas sob risco de enchentes em áreas urbanas, em diferentes condições socioeconômicas.	Não consta, mas sugere investimentos em infraestrutura pública de drenagem e saneamento.
9	Quantidade - aumento ou redução na quantidade de chuvas pode afetar o sistema de drenagem.	Planejamento da drenagem urbana a partir da ferramenta de tomada de decisão proposta, considerando diversos cenários.
10	Qualidade - no caso da urbanização, a qualidade da água é afetada de diversas formas: resíduos sólidos, coliformes fecais, aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio, seja pela falta de coleta e tratamento de esgoto ou pelo escoamento superficial.	Gestão da bacia através da utilização de modelo de avaliação multicritério para definição de áreas prioritárias para a restauração, considerando o uso e a ocupação do solo.
11	Quantidade - avaliação de risco de enchentes urbanas e elaboração de metodologia para suporte de decisão.	Utilização da metodologia para identificar e classificar alternativas para controle de enchentes em diferentes cenários, mesmo que se baseando em padrões de projetos considerados ultrapassados.
12	Quantidade - proposta de metodologia para a avaliação da resiliência às enchentes (índice de resiliência a inundações urbanas) ocasionadas por mudanças climáticas e expansão urbana.	Utilização da metodologia para a construção dos cenários que possam auxiliar no planejamento urbano e tomada de decisão.
13	Quantidade - avalia os pavimentos permeáveis e biorretenção utilizados nas áreas urbanas.	Adoção de melhores práticas de gestão para as águas pluviais, a fim de proporcionar cidades mais resilientes.
14	Quantidade - aumento do escoamento de água em razão das chuvas mais intensas.	Instalação de cisternas para controle do escoamento da água de chuva e reduzir demanda por água.
15	Qualidade - estudo do perfil da qualidade da água em período de seca extrema, considerando a alteração no uso e ocupação do solo, da nascente à foz.	Controle do desmatamento de matas ciliares e incentivo às políticas de restauração florestal. Controle da concentração de fósforo em sub-bacias mais urbanizadas.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

16	Quantidade - avaliar opções para o controle de inundações urbanas, através do desenvolvimento do índice de resiliência à inundação urbana e critérios de cenários futuros.	Utilização da ferramenta para a hierarquização de intervenções e definição dos maiores impactos positivos no sistema urbano complexo.
17	Quantidade e qualidade - avaliação do impacto dos incêndios nas áreas de recarga dos aquíferos, através de cenários, comprometendo o balanço hídrico na região metropolitana de Belo Horizonte e afetando direta ou indiretamente o abastecimento público.	Políticas públicas para o controle de incêndios em bacias hidrográficas.
18	Quantidade - relação entre o uso do solo e o escoamento como consequência da urbanização e utilização de modelo para prever as consequências diante da tendência da urbanização atual.	Não foram propostas ações, mas a compreensão do impacto hidrológico da urbanização na bacia estudada.
19	Quantidade - foi estudado o risco de inundação em razão da mudança no uso e ocupação do solo e da expansão das áreas urbanas e crescimento populacional na bacia.	Utilização dos cenários para suporte à tomada de decisão local e planejamento urbano.
20	Quantidade - elaboração de modelos considerando diferentes usos do solo e alteração na precipitação causada pelas mudanças climáticas.	O modelo proposto pode auxiliar na avaliação de áreas críticas de infiltração em São Paulo, que devem ser consideradas prioritárias para a restauração, assim como pode ser replicado em outros locais, para a gestão das águas.
21	Quantidade - mudança no padrão pluviométrico na Bacia do Rio Paraná, a fim de contribuir com o planejamento socioeconômico da área.	Não tem ação específica, mas apresenta os impactos das mudanças climáticas e a vulnerabilidade da região do Brasil.

Os artigos selecionados discutem principalmente a situação na região sudeste do Brasil, apontando os efeitos adversos das mudanças climáticas ao ciclo antrópico da água, tanto em relação à disponibilidade como à qualidade.

A drenagem urbana foi o tema mais recorrente, tendo sido abordado por 13 dos 21 artigos selecionados. Os autores apontam danos como inundações, redução da infiltração da água no solo e estresse hídrico.

A alteração na qualidade da água não foi indicada como um potencial impacto ambiental das mudanças climáticas para a maioria dos trabalhos analisados, sendo estudado em 7 dos 21 artigos. Furley *et al.* (2018) consideram que as alterações climáticas são um estressor importante à qualidade das águas na América Latina e deveriam ser objeto prioritário de pesquisa.

Tanto em termos qualitativos, quanto quantitativos, muitos autores apontam a necessidade da adoção de ações e incentivo às políticas públicas, ainda que de uma forma



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

abrangente. As recomendações também incluem a utilização de modelos e ferramentas específicas para gestores que atuam com o planejamento urbano. O Quadro 3 sintetiza as propostas apresentadas para as bacias urbanizadas.

Quadro 3. Principais ações adaptativas propostas para bacias urbanizadas.

	Ações Propostas
1	Adoção de processos de planejamento e gestão urbanos com participação ativa e tecnologias auxiliares do processo de decisão.
2	Ampliação do tratamento de água.
3	Boas práticas no manejo de águas pluviais, tanto para o aproveitamento das águas como para melhoria de infiltração.
4	Fortalecimento de ações de fiscalização, principalmente contra desmatamento e incêndio.
5	Preservação e recuperação dos rios e Áreas de Preservação Permanente.
6	Priorização de melhorias em áreas vulneráveis, identificadas por meio de mapeamento do uso e ocupação de terras.

Em razão das bacias PCJ apresentarem disponibilidade hídrica limitada, as medidas propostas são pertinentes e podem ser aplicadas ao território estudado. Embora tais bacias apresentem índices elevados de abastecimento nas áreas urbanas, de aproximadamente 98%, alguns municípios ainda apresentam valores relativamente baixos, como Nazaré Paulista (44,9%), Mairiporã (64,4%), Piracaia (65,9%) e Joanópolis (68,1%) (COMITÊS PCJ, 2020). Portanto, tais municípios poderão requerer ainda mais atenção com relação às ações adaptativas no cenário de mudanças do clima, não apenas com relação à garantia de suprimento hídrico, mas também quanto à qualidade.

Cabe ressaltar que as mudanças nos padrões de precipitação tanto podem causar chuvas intensas como períodos de estiagem, comprometendo a disponibilidade e a qualidade da água, estando sob maior risco as áreas de ocupação irregular e os assentamentos urbanos precários. Desta forma, a contribuição de diversos agentes, principalmente do comitê de bacia hidrográfica e de serviços de saneamento básico e infraestrutura, é essencial como estratégia para os municípios se tornarem mais resilientes (SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE, 2021).

A Política de Mananciais do comitê de bacias em questão (COMITÊS PCJ, 2018) é um importante instrumento para a melhoria da qualidade das águas, através da recuperação e preservação de matas ciliares, corroborando com o indicado em artigos consultados (FRIES *et al.*, 2019, PACHECO *et al.*, 2017 e RODRIGUES; JACOBI; FIGUEIRA, 2019).

Finalmente, os incêndios, que podem impactar a qualidade da água (RODRIGUES; JACOBI; FIGUEIRA, 2019 e EMELKO *et al.* 2011), devem ser tratados com maior



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

preocupação nas bacias, tanto através da referida Política de Mananciais quanto em outros instrumentos de gestão.

5. Conclusões

O trabalho permitiu, através de revisão dos artigos indexados, identificar diversas consequências das mudanças climáticas no meio urbano, que resultam em impactos ao saneamento básico, utilizando-se como recorte a bacia hidrográfica, atendendo ao objetivo da presente pesquisa.

Verificou-se que, em bacias densamente urbanizadas, a drenagem urbana e o manejo de águas pluviais têm sido o item mais abordado na literatura consultada, indicando que a disponibilidade hídrica é a preocupação principal. Desta forma, ações para o planejamento urbano e a gestão de águas pluviais têm sido amplamente recomendadas, assim como ações de preservação e recuperação ambiental.

Por se tratar de um assunto complexo, ainda são necessárias mais informações para compreender como as mudanças climáticas podem afetar a qualidade das águas e quais as medidas específicas a serem adotadas no tratamento de água e até mesmo possíveis adequações a serem realizadas em estações de tratamento localizadas nas bacias PCJ.

Enfim, considerando-se a emergência climática e a intensa demanda hídrica nas bacias PCJ, há necessidade de continuidade da realização de estudos que avaliem como o tratamento de água vem sendo realizado e quais as ações necessárias para adaptá-lo às possíveis alterações dos parâmetros de qualidade.

6. Referências bibliográficas

ABU-BAKAR, H., WILLIAMS, L., HALLETT, S.H. Quantifying the impact of the COVID-19 lockdown on household water consumption patterns in England. **Npj Clean Water**, v. 4, n. 13, Fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00103-8> Acesso em 7 out. 2021.

ANA (Brasil). **Mudanças climáticas e recursos hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília, DF: ANA, 2016. 93 p. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=123428&tipo_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=67800&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0 Acesso em 7 out. 2021.

ANA (Brasil). **Monitor de Secas**. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em : <https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=6&ano=2021> Acesso em 7 out. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2009]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm Acesso em 7 out. 2021.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

CAPRARIO, J.; FINOTTI, A. R. Socio-technological tool for mapping susceptibility to urban flooding. **Journal of Hydrology**, v. 574, p. 1152-1163, Jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.005> Acesso em 7 out. 2021.

CERQUEIRA, T. C. *et al.* Effects of urbanization on water quality in a watershed in northeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 1, p. 65, Dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8020-0> Acesso em 7 out. 2021.

COMITÊS PCJ. **Deliberação Comitês PCJ nº 307, de 14 de dezembro de 2018.** Aprova a Revisão da Política de Recuperação, Conservação e Proteção dos Mananciais no âmbito da área de atuação dos Comitês PCJ. Piracicaba: Comitês PCJ, [2018]. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/assessoria-ambiental/politica-de-mananciais/> Acesso em 1 out. 2021.

COMITÊS PCJ. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2020: ano base 2019.** Piracicaba, SP: Agência de Bacias PCJ, 2021. 131 p. Disponível em: https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/Relat%C3%B3rio_situa%C3%A7%C3%A3o-2020-2019.pdf Acesso em 7 out. 2021.

COMITÊS PCJ. **Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035: Relatório Síntese.** Piracicaba, SP: Agência de Bacias PCJ, 2020. 584 p. Disponível em: <https://plano.agencia.baciaspcj.org.br/o-plano/documentos/relat%C3%B3rio-final> Acesso em 1 out. 2021

DANLADI BELLO, A.-A.; HASHIM, N. B.; MOHD HANIFFAH, M. R. Predicting Impact of Climate Change on Water Temperature and Dissolved Oxygen in Tropical Rivers. **Climate**, v. 5, n. 3, Jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli5030058> Acesso em 7 out. 2021.

DA SILVA, C. V. *et al.* Climate Change Impacts and Flood Control Measures for Highly Developed Urban Watersheds. **Water**, v. 10, n. 7, Jun. 2018. Disponível em <https://doi.org/10.3390/w10070829> Acesso em 7 out. 2021.

DE OLIVEIRA, V. A. *et al.* Modeling the effects of climate change on hydrology and sediment load in a headwater basin in the Brazilian Cerrado biome. **Ecological Engineering**, v. 133, p. 20-31, Ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.021> Acesso em 7 out. 2021.

DE MEDEIROS, G. A. *et al.* Water quality, pollutant loads, and multivariate analysis of the effects of sewage discharges into urban streams of Southeast Brazil. **Energy, Ecology and Environment**, v. 2, n. 4, p. 259-276, Ago. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0062-y> Acesso em 7 out. 2021.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

DI GIULIO, G. M. *et al.* Bridging the gap between will and action on climate change adaptation in large cities in Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 19, n. 8, p. 2491-2502, Dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01570-z> Acesso em 7 out. 2021.

EMELKO, M. B. *et al.* Implications of land disturbance on drinking water treatability in a changing climate: Demonstrating the need for “source water supply and protection” strategies. **Water Research**, v. 45, n. 2, p. 461-472, Jan. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.051> Acesso em 7 out. 2021.

FURLEY, T. H. *et al.* Toward sustainable environmental quality: Identifying priority research questions for Latin America. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 14, n. 3, p. 344-357, Maio 2018. Disponível em <https://doi.org/10.1002/ieam.2023>. Acesso em 1 out. 2021.

FERREIRA, L. M. R. *et al.* Impact of the Urbanisation Process in the Availability of Ecosystem Services in a Tropical Ecotone Area. **Ecosystems**, v. 22, n. 2, p. 266-282, Mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0270-0> Acesso em 7 out. 2021.

FRIES, A. S. *et al.* Guanabara Bay ecosystem health report card: Science, management, and governance implications. **Regional Studies in Marine Science**, v. 25, p. 100474, Jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.100474> Acesso em 7 out. 2021.

GONZÁLEZ-BRAVO, R. *et al.* Urban sustainability: Analyzing the water-energy nexus in the Guandu river basin, Rio de Janeiro, Brazil. **Energy Reports**, v. 6, p. 254-260, Fev. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.053> Acesso em 7 out. 2021.

HASHEMPOUR, Y. *et al.* Assessing vulnerability to climate change for total organic carbon in a system of drinking water supply. **Sustainable Cities and Society**, v. 53, p. 101904, Fev. 2020. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101904> Acesso em 7 out. 2021.

IPCC. **Climate Change 2021 The Physical Science Basis**. AR6, SPM-25. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report_smaller.pdf Acesso em 26 set. 2021.

LÜDTKE, D. U. *et al.* Increase in Daily Household Water Demand during the First Wave of the Covid-19 Pandemic in Germany. **Water**, v. 13, n. 3, p. 260. Jan. 2021. Disponível em <https://doi.org/10.3390/w13030260> Acesso em 1 out. 2021.

MACK, L. *et al.* The future depends on what we do today – Projecting Europe's surface water quality into three different future scenarios. **Science of The Total Environment**, v. 668, p. 470-484, Jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.251> Acesso em 1 out. 2021.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

MANSUR, A. V. *et al.* An assessment of urban vulnerability in the Amazon Delta and Estuary: a multi-criterion index of flood exposure, socio-economic conditions and infrastructure. **Sustainability Science**, v. 11, n. 4, p. 625-643, Mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11625-016-0355-7> Acesso em 7 out. 2021.

MEDEIROS DE SABOIA MARCOS, A. *et al.* Robust Strategy for Assessing the Costs of Urban Drainage System Designs under Climate Change Scenarios. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 146, n. 11, p. 05020022, Nov. 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001281](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001281) Acesso em 7 out. 2021.

MELLO, K. D. *et al.* Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, p. 110879, Set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879> Acesso em 7 out. 2021.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. A catchment scale Integrated Flood Resilience Index to support decision making in urban flood control design. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 44, n. 5, p. 925-946, Set. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0265813516655799> Acesso em 1 out. 2021.

MMA (Brasil). **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: volume 1: estratégia geral**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2016. 44 p. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80182/PNA_Volume%20I.pdf Acesso em 7 out. 2021.

MOURA, N. C. B.; PELLEGRINO, P. R. M.; MARTINS, J. R. S. Best management practices as an alternative for flood and urban storm water control in a changing climate. **Journal of Flood Risk Management**, v. 9, n. 3, p. 243-254, Set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12194> Acesso em 1 out. 2021.

MOURA REZENDE, O.; *et al.* A framework to introduce urban flood resilience into the design of flood control alternatives. **Journal of Hydrology**, v. 576, p. 478-493, Set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.063> Acesso em 1 out. 2021.

NUNES CARVALHO, T. M.; DE SOUZA FILHO, F. D. A.; MEDEIROS DE SABÓIA, M. A. Performance of rainwater tanks for runoff reduction under climate change scenarios: a case study in Brazil. **Urban Water Journal**, 17, n. 10, p. 912-922, Nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1846063> Acesso em 7 out. 2021.

PACHECO, F. S. *et al.* Water quality longitudinal profile of the Paraíba do Sul River, Brazil during an extreme drought event. **Limnology and Oceanography**, v. 62, n. S1, p. S131-S146, Nov. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/lno.10586> Acesso em 1 out. 2021.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

- REZENDE, O. M. *et al.* A Framework to Evaluate Urban Flood Resilience of Design Alternatives for Flood Defence Considering Future Adverse Scenarios. **Water**, v. 11, n. 7, p. 1485, Jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w11071485> Acesso em 1 out. 2021.
- RIPPLE, W. J. *et al.* World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2021. **BioScience**, v. 71, n. 9, p. 894–898, Set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biosci/biab079> Acesso em 7 out. 2021.
- RODRIGUES, E. L.; JACOBI, C. M.; FIGUEIRA, J. E. C. Wildfires and their impact on the water supply of a large neotropical metropolis: A simulation approach. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 1261-1271, Fev. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.289> Acesso em 7 out. 2021.
- RYAN D., BUSTOS E. Knowledge gaps and climate adaptation policy: a comparative analysis of six Latin American countries, **Climate Policy**, v. 19, n. 10, pp. 1297-1309, Set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1661819> Acesso em 1 out. 2021.
- SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE (São Paulo). **Guia de adaptação e resiliência climática para municípios e regiões**. São Paulo (Estado): Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2021. 134 p. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/municipiosresilientes/guia/> Acesso em 1 out. 2021.
- SEIDL, M. *et al.* Impact of urbanisation (trends) on runoff behaviour of Pampulha watersheds (Brazil). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 13, p. 14259-14270, Maio 2020 Disponível em: [10.1007/s11356-019-06029-6](https://doi.org/10.1007/s11356-019-06029-6) Acesso em 7 out. 2021.
- SHAKIL, M. H. *et al.* (2020). COVID-19 and the environment: A critical review and research agenda. **Science of The Total Environment**, v. 745, p. 141022, Nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141022> Acesso em 1 out. 2021.
- TALAT, N. Urban water-supply management: indirect issues of climate change leading to water scarcity scenarios in developing and underdeveloped nations. *In*: THOKCHOM, B. *et al.* (org.). **Water Conservation in the Era of Global Climate Change**. Elsevier, 2021. cap. 3, p. 47-71. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820200-5.00009-9> Acesso em 1 out. 2021.
- TIEZZI, R. O. *et al.* Trends of streamflow under climate change for 26 Brazilian basins. **Water Policy**, v. 21, n. 1, p. 206-220, Dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wp.2018.207> Acesso em 1 out. 2021.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

YOUNG, A. F.; JORGE PAPINI, J. A. How can scenarios on flood disaster risk support urban response? A case study in Campinas Metropolitan Area (São Paulo, Brazil). **Sustainable Cities and Society**, 61, p. 102253, Out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102253> Acesso em 1 out. 2021.

ZAMBRANO, L.; PACHECO-MUÑOZ, R.; FERNANDEZ, T. A spatial model for evaluating the vulnerability of water management in Mexico City, Sao Paulo and Buenos Aires considering climate change. **Anthropocene**, v. 17, p. 1-12, Mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2016.12.001> Acesso em 1 out. 2021.

ZANDONADI, L. *et al.* Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 123, n. 3, p. 741-756, Fev. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1391-4> Acesso em 1 out. 2021.