

Variações no uso e na cobertura da terra na Macrometrópole Paulista e implicações para a resiliência hídrica sob mudanças climáticas

*Land use and land cover changes in São Paulo Macro
Metropolis and implications for water resilience under
climate change*

Demerval Aparecido Gonçalves^a

Wilson Cabral de Sousa Júnior^b

Luciana de Resende Londe^c

Marcos Pellegrini Coutinho^d

Walter Manoel Mendes Filho^e

^a Mestre em Ciências, Doutorando, Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, SP, Brasil
E-mail: demervas@gmail.com

^b Doutor em Ciência Econômica, Professor Associado, Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, ITA, São José dos Campos, SP, Brasil
E-mail: wilson@ita.br

^c Doutora em Sensoriamento Remoto, Pesquisadora, CEMADEN, São José dos Campos, SP, Brasil
E-mail: luciana.londe@cemaden.gov.br

^d Doutor em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis (PPGPUR), Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Sorocaba, SP, Brasil
E-mail: mzpcout@gmail.com

^e Mestre em Ciências, Doutorando, Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, SP, Brasil
E-mail: walter.mendesfilho@gmail.com

doi:10.18472/SustDeb.v12n2.2021.32146

Received: 19/06/2020
Accepted: 28/06/2021

ARTICLE – VARIA

RESUMO

A Macrometrópole Paulista (MMP) é um arranjo geográfico que reúne os mais significativos números socioeconômicos brasileiros e enfrenta inúmeros desafios, como a grande pressão sobre os recursos

naturais. Por meio da compilação, espacialização e do cruzamento de dados, este trabalho avaliou séries temporais de uso e ocupação da terra das últimas décadas, a situação do abastecimento de água no meio urbano e dados de projeção climática para a MMP. Foram identificados municípios com perfis distintos: os que apresentam saldos finais positivos e os que apresentam saldos finais negativos com relação à manutenção de suas áreas naturais. Além disso, mais da metade dos municípios da MMP possui baixa garantia hídrica, o que pode ser agravado devido às mudanças climáticas, como previsto em diversos modelos climáticos. A caracterização dos municípios a partir dessas informações permitiu identificar quais deles são os mais vulneráveis, e esses resultados indicam caminhos para ações coordenadas nos níveis locais e regionais para fins de ampliação da resiliência hídrica na macrorregião.

Palavras-chave: Macrometrópole Paulista. Mudanças de uso e ocupação da terra. Serviços ecossistêmicos. Abastecimento urbano.

ABSTRACT

The São Paulo Macro Metropolis (MMP) is a geographical arrangement that combines the most significant Brazilian socioeconomic scores. It also faces numerous challenges, like a heavy pressure on natural resources. Through the compilation, spatialization, and crossing of data, this work aimed to evaluate the land use and land cover data of the last decades, the status of urban water supply, and climate change projections for MMP. Municipalities with different profiles were identified: those with positive and negative balances concerning the maintenance of their natural areas. Furthermore, more than half of MMP's municipalities have low water supply guarantees, whose situation may get worse due to climate change, as predicted by several climate models. The characterization of municipalities based on this information allows the identification of the most vulnerable and these results indicate paths for coordinated actions at local and regional levels for the purpose of expanding water resilience in the macro-region.

Keywords: São Paulo Macro Metropolis. Land use and land cover changes. Ecosystem services. Water supply.

1 INTRODUÇÃO

Em 1950, havia apenas duas “megacidades” – aglomerações urbanas com 10 milhões de habitantes ou mais – no planeta: Nova Iorque e Tóquio (ONU, 2015). Em 2014, 18 países já tinham 28 megacidades, sendo Rio de Janeiro e São Paulo as duas megacidades brasileiras (ONU, 2015). A discussão sobre megacidades chama atenção em países denominados “emergentes”, como China, Índia e Brasil (ONU, 2015), pois as populações concentradas nos centros urbanos representam cada vez mais impactos sobre esses próprios centros e seus entornos.

Ao mesmo tempo que nas megacidades há um crescimento guiado por indústrias, comércio, portos e aeroportos, polos de conhecimento e iniciativas de alta complexidade tecnológica, há, também, o crescimento dos problemas comuns às metrópoles, como pobreza, violência, corrupção, desigualdade, deterioração dos edifícios, insalubridade, abastecimento de água, poluição e congestionamentos (THE STATES OF THE WORLD'S CITIES, 2004, 2005). Além disso, como já detectado por Di Giulio *et al.* (2017) e Urbinatti e Ferreira (2019), há grande pressão sobre os recursos naturais e grandes desafios ambientais representados pela perda de serviços ecossistêmicos, alterações do microclima urbano e inadequações nas características de uso da terra, que são potencializados quando megacidades são conurbadas com outras grandes metrópoles. Para lidar com esses problemas, como aponta Graafland (2006), é necessário compreender as cidades além de seus limites políticos, com aproximações que representem suas realidades espaciais, sociais, ambientais e econômicas.

No contexto brasileiro, considera-se a Macrometrópole Paulista (MMP) como um desses aglomerados (Figura 1), em que se inserem, além da megacidade de São Paulo, composta pelos municípios de sua Região Metropolitana, outras cinco Regiões Metropolitanas, duas Aglomerações Urbanas e uma Unidade Regional do estado de São Paulo, representando 21,5% do estado e 20% do patrimônio natural protegido do estado (EMPLASA, 2019).

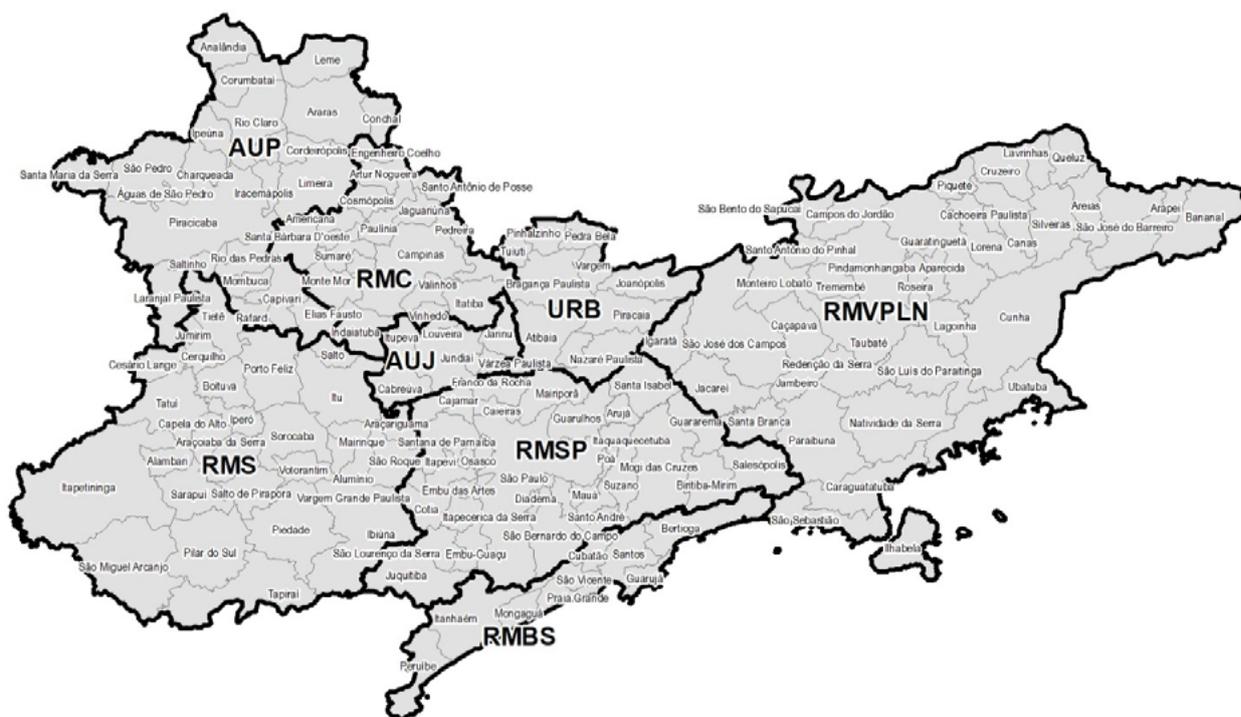


Figura 1 | Municípios da Macrometrópole Paulista agrupados em suas Regiões Metropolitanas, Aglomerações Urbanas e Unidade Regional – Aglomeração Urbana de Jundiaí (AUJ), Aglomeração Urbana de Piracicaba (AUP), Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), Região Metropolitana de Campinas (RMC), Região Metropolitana de Sorocaba (RMS), Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) e Unidade Regional Bragantina (URB).

Fonte: Elaboração própria.

A dinâmica e as características do crescimento/desenvolvimento/decrescimento da MMP podem determinar maior ou menor propensão para o comprometimento, e até a exaustão, de importantes serviços ecossistêmicos. Estes definidos, de acordo com a Avaliação Econômica do Milênio (MEA, 2003), como os benefícios obtidos dos ecossistemas, dos quais os seres humanos são fundamentalmente dependentes e que são categorizados em serviços de provisão, como água, comida e combustível; de regulação, como regulação do clima e purificação da água; culturais, como os benefícios recreativos, estéticos e educacionais; e de suporte, como ciclagem de nutrientes e formação do solo.

Há uma carência de estudos sobre cenários e projeções desse capital natural que possam subsidiar técnica e cientificamente a formulação de políticas públicas para anos futuros. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar séries temporais de dados de uso e ocupação da terra, buscando identificar, agrupar e ordenar os municípios da MMP em perfis de evolução das áreas de provimento de serviços ecossistêmicos, sobretudo o de produção de água, relacionando-os com a situação de abastecimento de água para o meio urbano e projeções anuais das variáveis climáticas. Com isso, busca-se visualizar as regiões e os municípios da MMP como um todo, apontando os que possuem situação mais crítica com relação aos serviços ecossistêmicos, utilizando como base de análise as coberturas naturais de seu território.

1.1 REVISÃO DE LITERATURA

A área das cidades, em comparação com os limites de seus municípios, geralmente é pequena, mas ainda assim a urbanização é uma atividade humana com potencial de provocar intensas mudanças no uso da terra, com fortes impactos e consequências (ROCKWELL, 2009). A urbanização é um dos processos mais impactantes para o ambiente (CARVALHO; BRAGA, 2001), e o estilo de vida praticado nas grandes cidades do mundo gera alta demanda de energia, poluição, degradação de recursos naturais e a emissão de gases de efeito estufa (FARIA, 2009; HOGAN *et al.*, 2001).

Quando associados aos impactos das mudanças climáticas, os problemas urbanos se intensificam: aumento de temperatura, aumento no nível do mar em cidades costeiras, ilhas de calor, inundações, escassez de água e alimentos, acidificação dos oceanos e impactos de eventos extremos (PBMC, 2016). Esses problemas geram novos desafios, como o desabastecimento de água causado por secas prolongadas, a proliferação de vetores de doenças como dengue, zika, chikungunya e leptospirose, e o aumento de doenças respiratórias relacionadas ao clima e/ou à poluição.

Os efeitos da urbanização motivam os estudos atualmente denominados de “nexo água-alimentos-energia”, que analisam a interdependência entre esses setores, necessários para garantir o bem-estar humano, a redução da pobreza e a sustentabilidade (FAO, 2014). Alterações em um desses setores podem ter impactos nos outros dois, considerando a alta demanda por seus produtos e o desafio gerencial de equilibrar adequadamente o uso da água para abastecimento humano, irrigação, produção de energia elétrica, entre outros (AHMADI *et al.*, 2020; FAO, 2014; SOUSA JÚNIOR, 2018). Na transição demográfica e na transição do consumo urbano de água no Brasil, Carmo *et al.* (2014) apontam a importância da relação entre a dinâmica demográfica e seus desdobramentos para a demanda e o uso da água.

A escassez de água desencadeia situações de conflito em torno dos complexos sistemas de abastecimento. Ao contrário do senso comum, a região metropolitana de São Paulo faz parte de uma área de insuficiente disponibilidade de água limpa, em uma região de complexidade hidrológica (JACOBI; TORRES; GRESSE, 2019). Tal situação suscita o desafio de melhorar a equidade na distribuição de água na metrópole, reforçando o acesso ao sistema público de abastecimento de água, além de garantir o suprimento ao longo do tempo.

O ano de 2014 foi o mais seco na história do estado de São Paulo, desde que os dados começaram a ser registrados, nos anos de 1930. Entre 2013 e 2015, os níveis de água dos principais reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) diminuíram drasticamente devido a um fenômeno de estiagem extrema, que afetou mais de 20 milhões de pessoas. Os baixos níveis de precipitação registrados no verão de 2020, diante de reservatórios com volumes muito baixos, prenunciam uma nova crise hídrica, que já se revela nas restrições de geração hidrelétrica (JACOBI; TORRES; GRESSE, 2019).

O aumento da frequência de tais eventos de seca e suas consequências para o provimento de água e energia são reflexos de mudanças climáticas que exigem investimento em políticas de adaptação para a RMSP, conforme apontam Sousa Júnior *et al.* (2016).

As bacias das represas de Billings e Guarapiranga, em São Paulo, são importantes regiões prestadoras de serviços ecossistêmicos, em especial, o de produção de água para abastecimento público. Ainda que protegidas por ordenamento territorial desde a década de 1970 (leis de proteção e recuperação dos mananciais), essas bacias se encontram fortemente pressionadas pelo uso da terra no entorno das represas, não direcionado para a preservação (PMMA SÃO PAULO, 2017).

Segundo Kowarick (2002), as características de uso e ocupação da terra são forçantes que determinam não apenas o crescimento e o desenvolvimento das cidades, mas, também, as consequências e os impactos destes últimos. Como exemplo, o autor aponta as questões de moradia como contribuintes para a determinação do padrão de vida urbano. No caso da cidade de São Paulo, conforme apontam

Leonel *et al.* (2019) e Sampaio e Pereira (2003), parte significativa de sua população ainda não tem moradia ou mora em condições precárias, por falta de serviços de infraestrutura (saneamento, coleta de lixo urbano, entre outros) ou por estar localizada em áreas de risco de desmoronamento, inundação e incêndio, devido a ligações elétricas precárias.

Sampaio e Pereira (2003) já identificavam na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e no Plano Diretor Estratégico (PDE) de São Paulo elementos para evitar novas ocupações em áreas de risco. Esses planos também previam a urbanização de áreas carentes e ações para “Equidade e Inclusão Social e Territorial” como forma de reduzir o contraste entre a acumulação e a pobreza.

Por outro lado, Amato-Lourenço *et al.* (2016) apontam que a criação de áreas verdes pode minimizar efeitos da expansão urbana, como a supressão da cobertura vegetal, além de contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população. Em São Paulo, projetos como o de criação de 100 parques urbanos (SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E MEIO AMBIENTE, 2012) e a Reserva da Biosfera do Cinturão Verde (RBCV) buscam arrefecer a pressão gerada pela urbanização sobre os cursos de água e mananciais hídricos, como observam Rodrigues *et al.* (2006).

O patrimônio ambiental, os serviços ecossistêmicos, a proteção dos recursos hídricos por meio do Pagamento por Serviços Ambientais – PSA (PAVANI *et al.*, 2020), os cenários de reflorestamento e erosão, a estimativa de áreas de pasto e florestas e as alterações entre essas categorias, todos esses aspectos se interconectam nas análises sobre a MMP. A análise da dinâmica do uso e da cobertura da terra é, portanto, fundamental para uma avaliação dos usos, da dependência e dos impactos sobre o provimento de serviços ecossistêmicos. Sua utilização é propícia para o contexto macrorregional de inserção da MMP. De acordo com Verburg *et al.* (2009), a quantificação das feições específicas e o seu relacionamento com as funções ecossistêmicas fornecem importante base de informações para a elaboração de políticas e planejamento do território.

A governança adaptativa, focada na experimentação e no aprendizado, que reúne atores para colaboração em ações coletivas visando à resolução de conflitos (FOLKE *et al.*, 2005), tem sido sugerida para enfrentar contextos como a crise hídrica de 2013-2015. De acordo com Torres e Jacobi (2020), tais questões necessitam de tratativas em escala macrorregional em contexto de gestão participativa. No entanto, há um descompasso na negociação entre a sociedade civil e o poder público, como detectado por Marques *et al.* (2020), os quais, por outro lado, identificam oportunidades de engajamento entre sociedade civil e academia para a governança da água.

2 MÉTODO

A área de estudo deste trabalho, a Macrometrópole Paulista (MMP), abrange 53,4 mil km², com 174 municípios (50% da área urbanizada do estado de São Paulo), que representavam 74,7% da população estadual, em 2018, e 81,9% do PIB estadual, em 2016 (EMPLASA, 2019). Dessa população, de acordo com o Censo 2010 (IBGE, 2010), 2,68 milhões de pessoas viviam em setores subnormais (EMPLASA, 2019). A MMP abrange as seguintes regiões metropolitanas: Aglomeração Urbana de Jundiaí (AUJ), Aglomeração Urbana de Piracicaba (AUP), Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), Região Metropolitana de Campinas (RMC), Região Metropolitana de Sorocaba (RMS), Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) e Unidade Regional Bragantina (URB).

Para apoiar as análises, foram utilizados três conjuntos de dados, os quais foram processados e atribuídos à malha de municípios do recorte da MMP e dispostos no período, conforme mostra a Figura 2.

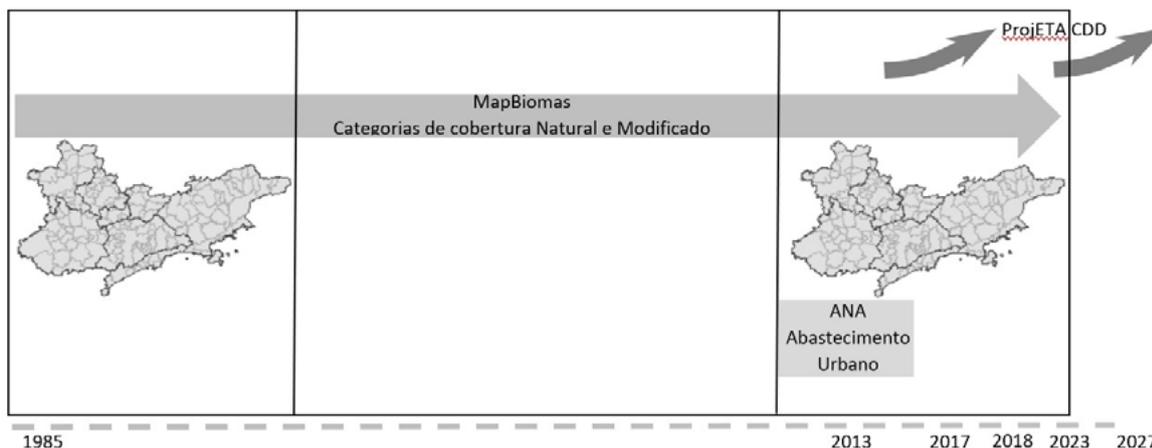


Figura 2 | Diagrama com os dados considerados como suporte para as análises do trabalho: Transições MapBiomas 1985-2018; Abastecimento Urbano do Atlas ANA 2013; Projeção da variável CDD do Projeta nos períodos de 2013 a 2017 e 2023 a 2027.

Fonte: *Elaboração própria.*

São disponibilizados pelo MapBiomas os dados relacionados ao uso e à cobertura da terra; pelo Cptec/Inpe, os dados relacionados às projeções de variáveis climáticas; e pela Agência Nacional de Águas (ANA), os dados relacionados ao Abastecimento Urbano.

O MapBiomas (PROJETO MAPBIOMAS, 2019) é uma iniciativa multi-institucional que produz e dissemina, sistematicamente, dados de uso e cobertura da terra de todo o território brasileiro, detalhando as transições ocorridas anualmente de 27 categorias, desde o ano de 1985. Os dados de cobertura e transições são disponibilizados em formato *raster*, apropriado para produção de mapas e operações de geoprocessamento, e em formato de planilha eletrônica, com os quantitativos de áreas, agrupados por biomas, estados e municípios.

Para este trabalho, as categorias dos dados *raster* de cobertura da terra foram agrupadas conforme a Tabela 1, exibindo o mapeamento com apenas dois grupos de categorias: Natural e Modificado. O grupo Natural inclui as categorias de ambiente natural preservado, e o grupo Modificado inclui as categorias em que houve modificações antrópicas de cobertura da terra. Esse agrupamento busca distinguir as categorias com maior potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos daqueles com menor potencial, destinados às atividades econômicas convencionais e outras ocupações. É importante ressaltar que as transições entre categorias ocorreram do grupo Natural para Modificado e vice-versa, e, portanto, o incremento de áreas do grupo Natural pode se referir não exatamente às áreas naturais, mas, também, às regiões que, em algum momento, foram destinadas à recuperação e à regeneração.

Tabela 1 | Agrupamento de categorias de uso e cobertura da terra do MapBiomas.

<i>Natural</i>	<i>Modificado</i>
Afloramento Rochoso	Agricultura
Apicum	Floresta Plantada
Floresta Natural	Infraestrutura Urbana
Formação Campestre	Mineração
Outra Formação não Florestal	Mosaico de Agricultura ou Pastagem
Praia e Duna	Não Observado
Rio, Lago e Oceano	Outras Áreas não Vegetadas
	Pastagem

Fonte: *Elaboração própria*

Foram feitos dois ordenamentos considerando valores absolutos em área e em percentual de transições, de forma que foi possível identificar os municípios com maior perda e os com maior ganho de áreas do grupo Natural no período analisado. Assim, identificam-se os municípios com maior ritmo de transições e o *status* atual de cobertura com relação às categorias com maior potencial de oferta de serviços ecossistêmicos.

Com relação aos dados de clima, o Cptec-Inpe utilizou o modelo regional ETA e realizou o *downscaling* dos modelos globais BESM, HadGEM2-ES, MIROC5 e CanESM2, e obteve as projeções de variáveis climáticas com frequência anual, mensal, diária e de 3 horas para a América do Sul para o período de 2006 até 2099 nos cenários RCPs (*Representative Concentration Pathway*) 4.5 e 8.5 (CHOU *et al.*, 2014a; CHOU *et al.*, 2014b; LYRA *et al.*, 2018).

Para este estudo, foi utilizada a variável Número Máximo de Dias Secos Consecutivos no Ano (CDD) das projeções climáticas anuais do modelo ETA HadGEM RCP 4.5, que está disponível com resolução espacial de 5 quilômetros para os estados da Região Sudeste do Brasil na plataforma Projeta (CPTEC/INPE, 2020). Esse índice foi selecionado por ser capaz de indicar períodos de baixa precipitação e condições que favorecem a seca. Esses dados estão divididos temporalmente de 1961 a 2005, período em que representam os resultados do modelo utilizando dados observados, e de 2006 a 2099, período de projeção para os cenários climáticos.

Os dados de abastecimento de água à população encontram-se no Atlas de Abastecimento Urbano da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020) e também compõem este trabalho. Nele, cada município brasileiro é classificado da seguinte forma: “abastecimento satisfatório”, em que o município não apresenta criticidade no manancial e nem na infraestrutura de abastecimento; “ampliação do sistema produtor”, em que o município não apresenta problemas de abastecimento, mas há a necessidade de ampliação de unidades do sistema produtor; “baixa garantia hídrica”, em que o sistema de abastecimento do município necessita de novo manancial ou se encontra em condição de racionamento, colapso ou alerta (em 2013); e “sem informação”.

3 RESULTADOS

3.1 ALTERAÇÕES NO USO E NA COBERTURA DA TERRA

Considerando as transições de uso e cobertura identificadas nos dados MapBiomas para o recorte da MMP, houve redução de 0,26% nas categorias do grupo Natural na MMP em todo o período de 1985 a 2018. Apesar de o percentual ser praticamente nulo, isso não significa a inexistência de transições no período, pois as transições das categorias ocorreram nos dois sentidos: do grupo Natural para o grupo Modificado e vice-versa, oscilando ao longo dos anos.

O histórico de transições de uso e cobertura da terra culmina nos dados mais recentes de 2018, que mostram o panorama atual da paisagem, e, por eles, é possível identificar regiões com diferentes características com relação à manutenção de áreas da categoria Natural, como visto na Figura 3, com representação do percentual de área da categoria Natural de cada município.

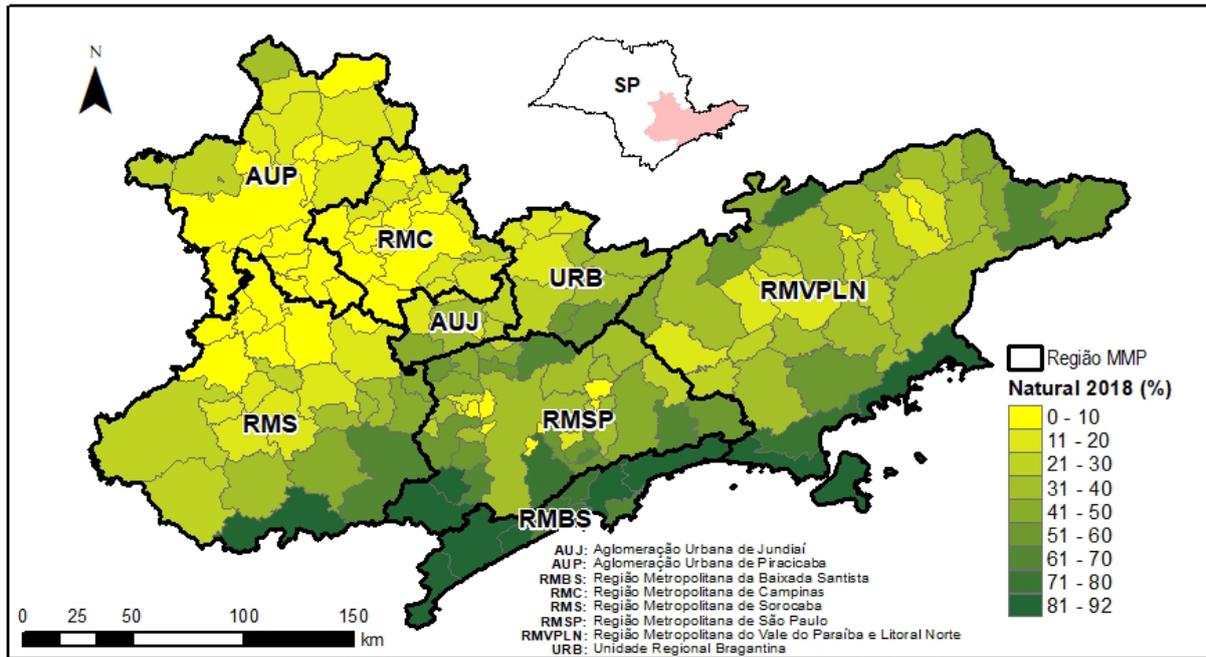


Figura 3 | Municípios da MMP e respectivos percentuais de cobertura Natural em 2018.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MapBiomias (PROJETO MAPBIOMIAS, 2019).

A maioria dos municípios das Regiões Metropolitanas de Campinas e Sorocaba e a Aglomeração Urbana de Piracicaba possui menos de 20% de sua cobertura entre aquelas categorizadas como Natural. Esses municípios formam um bloco contínuo que se expande até a Aglomeração Urbana de Jundiaí e Unidade Regional Bragantina. Por outro lado, há municípios com mais de 80% de cobertura categorizados como Natural, que se concentram na faixa costeira do estado, com destaque para a Região Metropolitana da Baixada Santista, com a maioria de seus municípios com essa característica.

Analisando outros municípios, é possível observar que o percentual do grupo Natural de São Caetano do Sul é de 0,1%, e, por outro lado, 92% do território de Ubatuba são do grupo Natural, e, ainda assim, houve transição de 0,8% do grupo Modificado para Natural. Tal fato reflete parcialmente os resultados encontrados por Farinaci (2012) em pesquisa sobre a intenção de produtores rurais de ampliar áreas de floresta em suas propriedades. Segundo a autora, em municípios como Ubatuba, Monteiro Lobato e São Luiz do Paraitinga, a resposta foi afirmativa, enquanto em municípios como Campinas, Jundiaí e São José dos Campos, a maior parte dos produtores não tem a intenção de aumentar as florestas.

A Figura 4 mostra o histórico dos municípios das regiões da MMP conforme o percentual do saldo final acumulado do período das transições do grupo Natural para o grupo Modificado, ou seja, em 33 anos, o saldo final indica que houve municípios que suprimiram até 18,5% de sua área com transições do grupo Natural para o Modificado, e municípios que incrementaram em até 9,6% de sua área com transições do grupo Modificado para o Natural. Em valores absolutos, há municípios que suprimiram até 55 km² as categorias do grupo Natural e, também, municípios que incrementaram em até 41 km² essas categorias.

Os quantitativos das transições nos municípios foram ordenados considerando-se o saldo final do grupo Natural com relação aos valores absolutos de área e, também, o saldo final do grupo Natural em percentual da área do município. Tanto para a área como para o percentual, foram identificados os cinco municípios da MMP com maior e menor saldo no final do período.

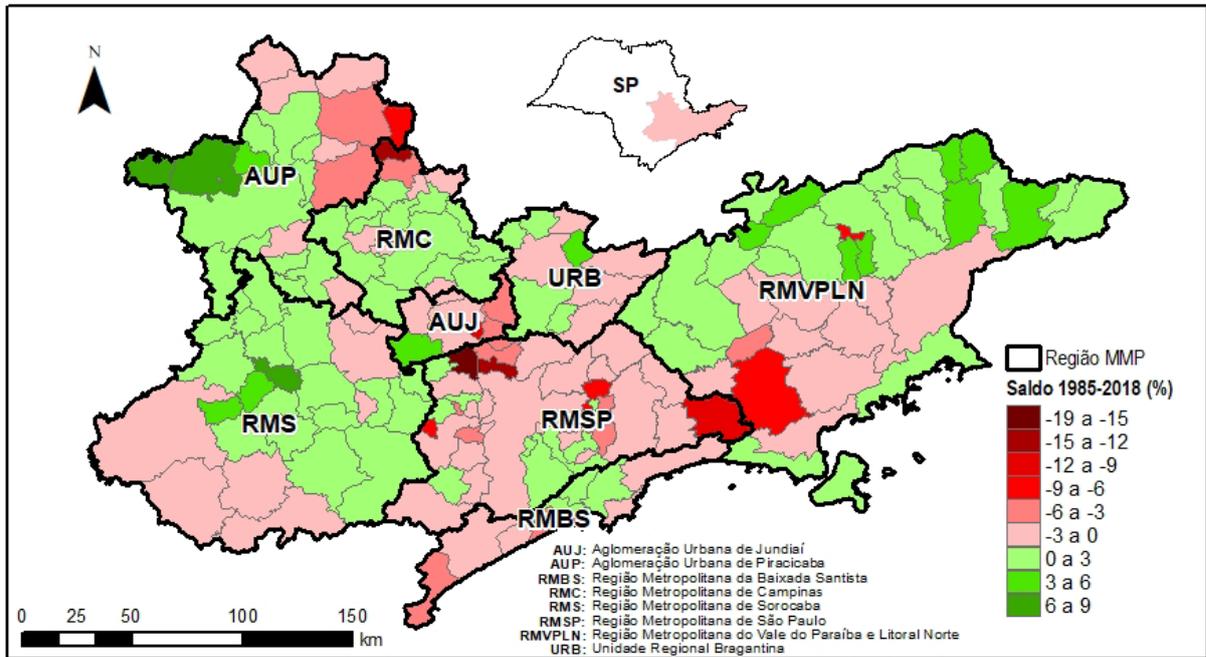


Figura 4 | Mapa com o percentual das transições de cobertura da terra entre 1985 e 2018 na MMP. Tons de vermelho indicam perda de áreas naturais, e tons de verde indicam ganho.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MapBiomias (PROJETO MAPBIOMAS, 2019).

Conforme o balanço final, mostrado na Tabela 2, as regiões AUP, RMC e RMS, situadas no oeste da MMP, apresentaram percentual positivo com relação às classes de vegetação Natural. Nas demais regiões, o percentual foi negativo, inclusive na RMVPLN, onde a predominância de municípios com saldo positivo na Serra da Mantiqueira e no Litoral Norte não foi suficiente para compensar o decréscimo dos outros municípios.

Tabela 2 | Classificação das regiões conforme o saldo de área da classe de vegetação Natural a partir das transições de categorias no período de 1985 a 2018.

Região	População (2019)	Área (km ²)	Saldo Natural (km ²)	Saldo Natural (%)
Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)	21.734.682	7.947	-146	-1,84
Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS)	1.865.397	2.429	-49	-2,04
Aglomeração Urbana de Jundiaí (AUJ)	815.338	1.269	-10	-0,80
Unidade Regional Bragantina (URB)	434.655	2.768	-8	-0,29
Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN)	2.552.610	16.178	-6	-0,04
Região Metropolitana de Campinas (RMC)	3.264.915	3.792	17	0,45
Aglomeração Urbana de Piracicaba (AUP)	1.495.220	7.368	23	0,32
Região Metropolitana de Sorocaba (RMS)	2.143.786	11.611	43	0,37
Macrometrópole Paulista (total)	34.306.603	53.362	-137	-0,26

Fonte: Elaboração própria

Com relação ao percentual de áreas que sofreu transição de Natural para Modificado, os municípios de Cajamar, Caieiras, Engenheiro Coelho, Várzea Paulista e Salesópolis possuem os maiores valores (18,5%, 12,6%, 12,2%, 11,4% e 9,6%, respectivamente). Por outro lado, os maiores saldos finais em percentual de transição de Modificado para Natural foram dos municípios de Iperó, Santa Maria da Serra, São Pedro, Águas de São Pedro e Cabreúva (8,5%, 7,9%, 6,8%, 5,2% e 4,8%, respectivamente).

Quanto ao saldo final, em valores absolutos de áreas que sofreram transição de Natural para Modificado em todo o período, os municípios de Paraibuna, Salesópolis, Cunha, Cajamar e Limeira tiveram os maiores valores (55 km², 41 km², 25 km², 24 km² e 23 km², respectivamente).

Os municípios de São Pedro, Piracicaba, Santa Maria da Serra, São José do Barreiro e Iperó, por outro lado, tiveram os maiores saldos em valores absolutos de transições das categorias Modificado para Natural (41 km², 21 km², 20 km², 17 km² e 14 km², respectivamente). Assim, os municípios de Cajamar e Salesópolis destacam-se com os maiores percentuais e valores absolutos de áreas em transições das categorias Natural para Modificado, e os municípios Iperó, Santa Maria da Serra e São Pedro destacam-se com os maiores percentuais e valores absolutos de áreas em transições das categorias Modificado para Natural.

Há, ainda, um grupo de municípios com os menores percentuais de suas áreas nas categorias Natural em 2018. São os municípios de São Caetano do Sul, Hortolândia, Sumaré, Cerquilha e Santa Bárbara d'Oeste, com no máximo 3% de seu território nas categorias Natural. Por outro lado, os municípios de Ubatuba, Ilhabela, Tapiraí, Jujutiba e Bertioga apresentam, em 2018, percentuais de área nas categorias Natural em aproximadamente 90% de seu território.

O município de Cajamar, por sua proximidade com a região metropolitana de São Paulo, possui vários centros logísticos e de distribuição e concentra suas atividades econômicas na extração de madeira e pedra; indústria de alimentos, cosméticos, metalurgia e química; mineração de calcário, além da logística de produtos em geral (MDIC, 2018). As atividades econômicas e a localização geográfica do município de Cajamar ajudam a explicar a diminuição de áreas naturais verificada nos dados.

Iperó, representando o oposto, é o município com maior incremento de áreas naturais e encontra-se na região metropolitana de Sorocaba. Nesse município, está inserida a parte da Flona de Ipanema, onde atividades de educação ambiental e de conscientização da população têm sido implementadas no entorno ao longo do tempo.

Em nível municipal, ainda há problemas para a manutenção de áreas de vegetação na ocasião das discussões dos novos Planos Diretores e Leis de Zoneamento, principalmente em áreas de proteção ambiental de Cerrado. Em São José dos Campos, o Cerrado, que cobria 30% do território municipal, representa atualmente apenas 1% dessa cobertura nativa (CODAZZI, 2019).

3.2 PROJEÇÕES CLIMÁTICAS

Os dados anuais da variável CDD da projeção climática gerados pelo Cptec/Inpe e disponibilizados na Plataforma Projeta foram processados para o recorte da MMP considerando o modelo regional ETA-HadGEM-ES. Esses dados compreendem o período histórico de 1961 a 2005, constituídos a partir de dados observados, e os que compreendem o período de projeção sob o cenário RCP 4.5, de 2006 a 2099.

O índice climático CDD é obtido a partir dos dados da variável Precipitação (Prec) e indica a quantidade de dias consecutivos com precipitação inferior a 1 milímetro no período em que os valores mais altos podem caracterizar condições favoráveis à seca. A média anual histórica do CDD na MMP foi de 20,6 (1961 a 2005), a média do período de 2038 a 2042 de 22,7, e a média dos cinco últimos anos da projeção de 28,1 (final do século XXI). Nota-se que esse índice é crescente de acordo com a observação dessas três médias e é um importante referencial nas questões de abastecimento urbano, entre outras.

Observou-se grande amplitude nesse índice nos períodos de 2013 a 2017 e 2023 a 2027, e a diferença da média de cada período é apresentada na Figura 5. De acordo com a projeção, exceto em alguns pontos no Litoral Norte Paulista, toda a MMP terá uma sequência maior de dias secos no período de 2023 a 2027 (em torno de 2025), considerando o período de 2013 a 2017 (em torno de 2015) como referencial devido à crise hídrica. Além de o índice não ser favorável para toda a MMP na projeção de 10 anos, há uma faixa que inclui a URB, AUJ, RMC e AUP, em que há uma criticidade ainda maior, com extensão dos dias secos em aproximadamente mais um mês.

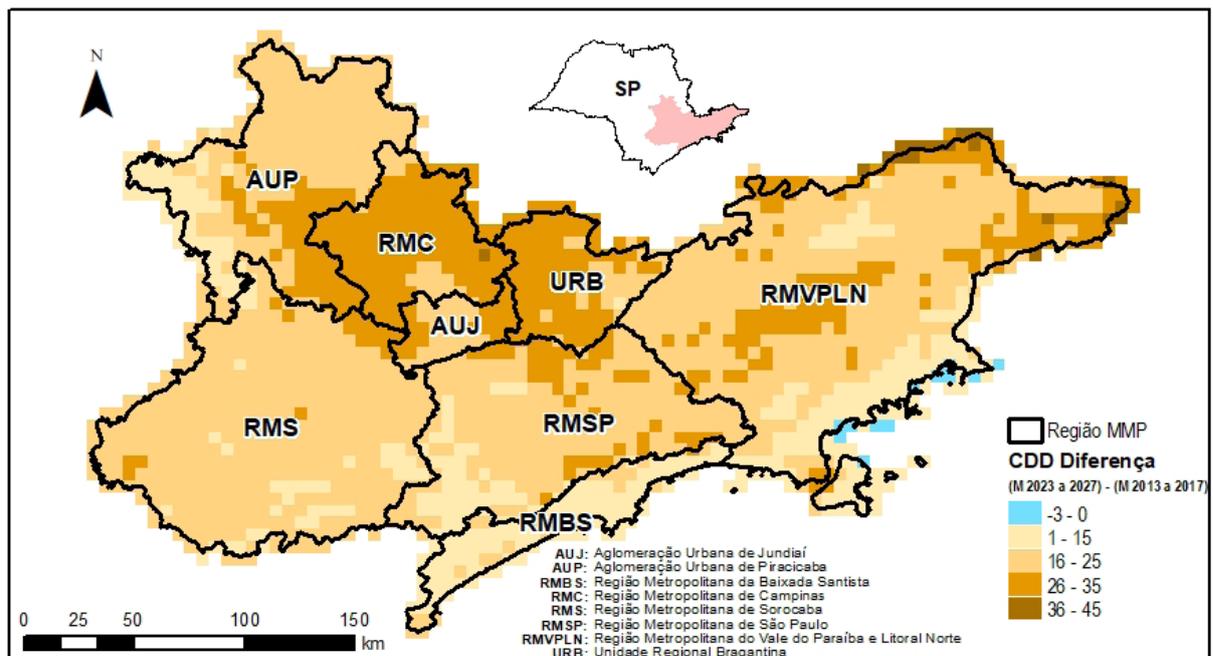


Figura 5 | Mapa da MMP com a representação da diferença das médias do índice CDD dos períodos 2023 a 2027 e 2013 a 2017. Os valores positivos, que ocupam quase integralmente o mapa, indicam que houve aumento do índice com relação aos dois períodos.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados Projeta (CPTEC/INPE, 2020).

3.3 ABASTECIMENTO URBANO

Buscar alternativas para garantir a segurança hídrica é um desafio de gestão, principalmente ao considerar os efeitos diretos das mudanças climáticas sobre o volume de precipitação, a demanda crescente por água para abastecimento, uso industrial e irrigação na MMP. Cabe ressaltar que alguns municípios, a exemplo de São Paulo, dependem de mananciais que estão além de seu território.

Conforme o Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, oito Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos são compreendidas pela MMP: Paraíba do Sul, Litoral Norte, Piracicaba/Capivari/Jundiá, Alto Tietê, Baixada Santista, Mogi Guaçu, Tietê/Sorocaba e Ribeira de Iguape e Litoral Sul.

Os dados da situação do abastecimento dos municípios do Atlas de Abastecimento Urbano para o recorte territorial da MMP estão representados na Figura 6, que mostra que 58% dos municípios da MMP necessitam de investimento nessa área e estão na situação de baixa garantia hídrica ou necessitam de ampliação do sistema produtor.

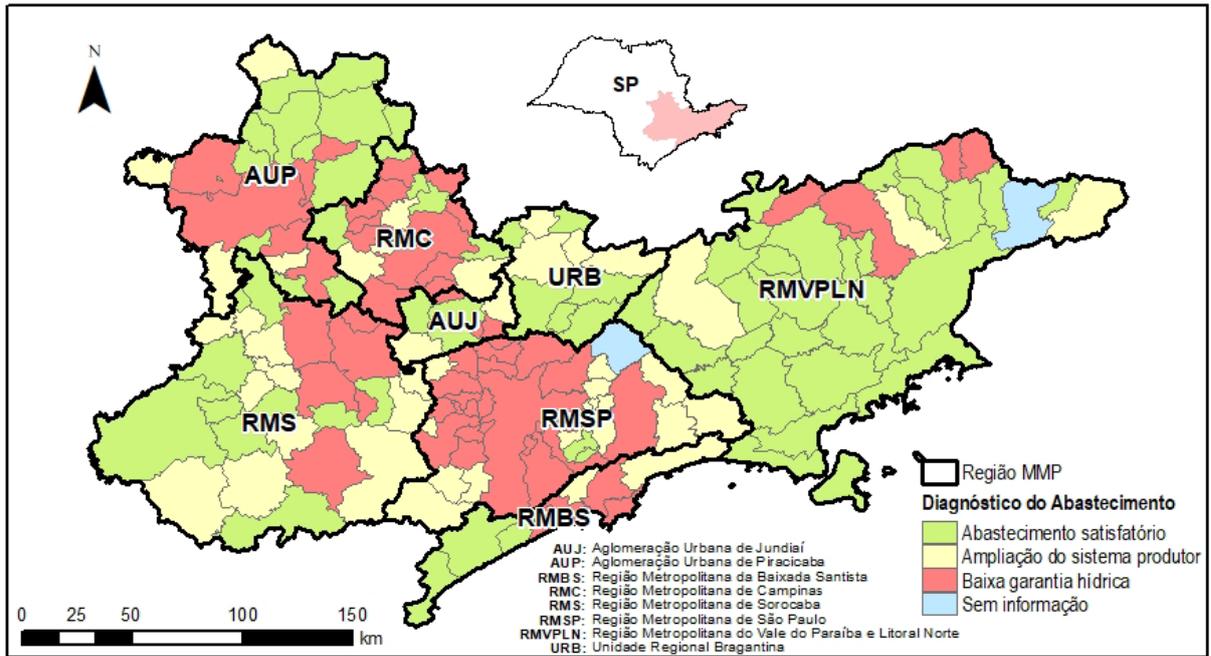


Figura 6 | Mapa com a qualificação do abastecimento hídrico na MMP, conforme o Atlas de Abastecimento Urbano.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do Atlas de Abastecimento Urbano (ANA, 2020).

O mapa indica que em todas as regiões da MMP há municípios com baixa garantia hídrica, exceto a Unidade Regional Bragantina, e que nas duas regiões mais populosas, as Regiões Metropolitanas de São Paulo e de Campinas, a maior parte de seus municípios está nessa situação. É importante salientar que as áreas de contribuição dos sistemas de abastecimento estão além dos limites municipais, das regiões metropolitanas e até mesmo da MMP, como é o caso do Sistema Cantareira de Abastecimento, com áreas a montante no estado de Minas Gerais. Dessa forma, o suprimento de água à população, proveniente dos serviços ecossistêmicos, tem origem em outros municípios adjacentes.

3.4 MUNICÍPIOS CRÍTICOS

A partir da combinação das três informações compiladas e processadas, considerando os diferentes perfis dos municípios da MMP com relação ao histórico de alteração de uso e cobertura da terra, suas áreas naturais atuais com potencial de produção de serviços ecossistêmicos e a situação de abastecimento urbano, foram identificados 20 municípios cujos contextos são mais desfavoráveis (Tabela 3).

Trata-se de municípios que apresentam menos de 20% de seu território com cobertura natural, possuem um saldo negativo com relação à manutenção de áreas naturais e têm um diagnóstico que indica baixa garantia hídrica ou que necessita de ampliação do sistema produtor de água.

Tabela 3 | Municípios da MMP com características desfavoráveis com relação ao fornecimento de serviços ecossistêmicos de produção de água e com necessidade de investimento nos sistemas de abastecimento (ordenados decrescentemente pelo percentual de Área Não Natural em 2018).

Região	Município	Área Natural Convertida (%)	Área Não Natural em 2018 (%)	Diagnóstico do Abastecimento
RMSP	São Caetano do Sul	-0.3	99.9	Baixa garantia hídrica
RMC	Hortolândia	-0.7	98.6	Ampliação do sistema produtor
RMC	Sumaré	-0.2	97.3	Baixa garantia hídrica
RMVPLN	Potim	-8.3	96.4	Baixa garantia hídrica
AUP	Rio das Pedras	-0.1	95.6	Baixa garantia hídrica
AUP	Cordeirópolis	-0.5	94.2	Baixa garantia hídrica
RMSP	Osasco	-1	93.8	Baixa garantia hídrica
RMS	Salto	-0.1	93.7	Baixa garantia hídrica
RMSP	Carapicuíba	-1.5	93.6	Baixa garantia hídrica
RMSP	Itaquaquecetuba	-6.4	92.8	Ampliação do sistema produtor
RMSP	Taboão da Serra	-0.7	92.0	Baixa garantia hídrica
RMC	Artur Nogueira	-3.1	91.7	Baixa garantia hídrica
RMSP	Jandira	-4.8	89.1	Baixa garantia hídrica
RMC	Santo Antônio de Posse	-1.9	88.4	Baixa garantia hídrica
RMC	Vinhedo	-0.7	82.4	Baixa garantia hídrica
AUJ	Várzea Paulista	-11.4	81.9	Baixa garantia hídrica
URB	Bragança Paulista	-1.2	81.8	Ampliação do sistema produtor
AUJ	Louveira	-0.5	81.6	Baixa garantia hídrica
RMS	Itu	-0.7	80.5	Baixa garantia hídrica
RMSP	Mauá	-2.4	80.1	Ampliação do sistema produtor

Fonte: Elaboração própria

Há municípios em condição desfavorável em todas as regiões, exceto na RMBS. No entanto, cabe observar que a RMSP e a RMC juntas detêm a maioria dos municípios (60%). A situação é agravada diante das projeções de alterações climáticas, que apontam para períodos mais longos de dias secos consecutivos em toda a MMP, com mais intensidade na RMC e imediações.

4 DISCUSSÃO

A utilização de dados de uso e cobertura da terra para análise do histórico de ocupação e identificação de padrões constitui uma ferramenta importante para a gestão do território. Lira *et al.* (2012) a utilizaram em três áreas no estado de São Paulo para estudar a estrutura da paisagem ao longo do tempo (1960 a 2000) e as implicações das alterações na biodiversidade. Por outro lado, este trabalho buscou extrair dos dados de uso de cobertura os indicativos de produção de serviços ecossistêmicos em um recorte municipal para a MMP.

A produção de água pelo ambiente é sensível aos diferentes tipos de uso e cobertura da terra, e uma das principais ameaças aos mananciais da RMSP é a ocupação urbana descontrolada em suas áreas de proteção (FRACALANZA FREIRE, 2015; COSTA, 2015). Segundo Carmo *et al.* (2014b), essa ocupação faz com que o esgoto doméstico, o lixo e a carga difusa de poluição gerada nas áreas urbanizadas acarretem o comprometimento da qualidade da água bruta e a possível inviabilização de uso do manancial, dado o aumento do custo do tratamento e, inclusive, a ameaça de redução da qualidade da água a ser

distribuída para a população. O comprometimento dos mananciais de superfície da Bacia do Alto Tietê, por exemplo, ocorre a partir da ocupação periférica da mancha metropolitana da RMSP, que ocorre não só, mas principalmente, por assentamentos de baixa renda (CARMO *et al.*, 2014b).

Na área rural, a agricultura convencional maximiza a provisão de alimentos, fibras e matérias-primas, mas acarreta desserviços ambientais como perda de biodiversidade, escoamento superficial de água e nutrientes, assoreamento de cursos hídricos, emissão de gases de efeito estufa, contaminação de aquíferos, entre outros problemas (POWER, 2010).

Na MMP, a supressão de vegetação natural devido à expansão da ocupação urbana e outros usos na área rural diminui a quantidade ofertada dos serviços ecossistêmicos como a produção de água. Além disso, a baixa garantia hídrica e a deficiência na infraestrutura de abastecimento registradas pela Agência Nacional de Águas indicam a premente necessidade de investimento em políticas públicas no sentido de reverter o quadro.

Como visto, há o agravante da tendência identificada de aumento dos valores do índice CDD em um horizonte de 10 anos para toda a MMP, cuja tendência corrobora Chou *et al.* (2014a), que mostram projeções de aumento da temperatura para toda a América do Sul, com diferentes intensidades, e o decréscimo do volume de precipitação de forma intensificada, e, conseqüentemente, o aumento dos valores CDD para a Região Sudeste do Brasil.

Há ações possíveis no escopo de atuação dos municípios para melhorar esse cenário, uma vez que são as municipalidades as responsáveis pelas políticas de uso e ocupação em seus territórios. Com relação ao uso e à cobertura da terra, podem ser implantadas ações de recuperação de áreas degradadas e restabelecimento de vegetação natural em áreas de preservação permanente, a fim de aumentar a regularidade dos fluxos hídricos, especialmente em momentos de maior criticidade. A identificação das nascentes com passivo ambiental, por exemplo, pode ser feita por meio dos dados do Cadastro Ambiental Rural, como propõem Coutinho *et al.* (2018).

No que diz respeito à melhoria do clima, podem ser implementados os dez passos da campanha da UNISDR para a construção de uma cidade resiliente (UNDRR, 2021), com foco na escassez hídrica como desastre natural, e a implementação de um plano municipal de adaptação às mudanças climáticas com o arcabouço do Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e a Energia (GCOM, 2021).

Por outro lado, há que se ressaltar que a mitigação de problemas de abastecimento nos municípios e regiões da MMP mais críticos se dá por meio da gestão da MMP como um todo, sobretudo pelo fato de a produção de água ocorrer na escala de bacias hidrográficas, tendo em vista que essas extrapolam os limites das regiões metropolitanas da MMP e até mesmo do estado de São Paulo. Assim, mesmo que se priorizem os municípios mais críticos, evidenciados neste trabalho, são necessárias análises para planejamento na escala de macrorregião, como indicam Torres e Jacobi (2020), especialmente em arranjos de gestão participativa.

Tal visão, com relação à gestão participativa, é corroborada por Folke *et al.* (2005), os quais sugerem a governança adaptativa, focada na experimentação e no aprendizado, que reúne atores para colaboração em ações coletivas visando à resolução de conflitos, como abordagem para o enfrentamento de crises com essas características. Nesse contexto, Marques *et al.* (2020) identificaram descompassos na negociação entre a sociedade civil e o poder público, na gestão das águas, ao mesmo tempo que indicam oportunidades de engajamento entre sociedade civil e academia para efetiva governança – o estudo foi realizado em uma parcela de municípios da MMP, da região metropolitana do Vale do Paraíba, mas as conclusões refletem condições encontradas em toda a macrometrópole.

Com relação ao abastecimento de água, além do investimento em obras de infraestrutura, podem-se adotar políticas que estimulem a redução da demanda por água com a implementação de governança para promover a corresponsabilização dos consumidores e incentivos fiscais.

Diante dos diferentes perfis de uso e cobertura da terra dos municípios da MMP, a implementação de programas de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) é uma estratégia de política para buscar uma forma de compensação para aqueles com maior capacidade de produção de serviços ecossistêmicos em relação aos que possuem alta demanda e limitações produtivas devido à sua área consolidada predominantemente destinada a outros fins. O sancionamento da Lei 14.119, de 2021, que institui a Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais (BRASIL, 2021), estimula e ampara esse tipo de estratégia.

A implantação de PSA hídrico associada às demandas da cobertura vegetal é um instrumento potencial de auxílio à conservação dos recursos hídricos em qualidade e quantidade (LIMA *et al.*, 2013). Todavia, é fundamental o fortalecimento dos órgãos gestores do PSA, incluindo a capacitação de seus membros, de forma a garantir a manutenção das áreas conservadas, independentemente das mudanças políticas que venham a ocorrer no município ou estado (JARDIM, 2010).

As ações elencadas anteriormente, como exemplo no nível municipal, tornam-se mais eficientes quando transpostas para a escala da MMP, ao buscarem a identificação de objetivos comuns, o compartilhamento de experiências e os resultados, tornando os decisores municipais os principais atores de uma governança adaptativa.

5 CONCLUSÃO

O histórico de transição de uso e cobertura da terra, o retrato situacional do abastecimento urbano e as projeções de variáveis e índices climáticos para os municípios da MMP geram desafios de gestão pública. Esses desafios, sobretudo o de abastecimento de água, onde se tem uma demanda crescente e limitação das áreas fornecedoras dos serviços ecossistêmicos, requerem atores atentos aos impactos das mudanças climáticas previstos por diferentes modelos. Os modelos apontam tendência de aumento da temperatura, diminuição da precipitação pluviométrica e maior frequência de períodos de dias secos consecutivos. Além disso, as alterações de uso e cobertura da terra afetam diretamente a produção de água, e, apesar da MMP ter um saldo equilibrado de áreas naturais após três décadas, houve significativas transições ao longo do período e municípios com perfis distintos com relação à manutenção de áreas com maior capacidade de produção de serviços ecossistêmicos.

Nesse contexto, mesmo municípios com domínio de áreas urbanas, e, conseqüentemente, com menor área rural para investimento em restauração ecológica, deveriam orientar suas políticas para a ampliação da resiliência climática e ações como a revitalização do tecido urbano, por meio da implantação e da restauração de parques e áreas verdes, os quais contribuem para o arrefecimento da temperatura e para o amortecimento de inundações. O investimento em soluções baseadas na natureza (SBN) e em adaptação baseada em ecossistemas (EBA) avança nesse sentido e contribui para a geração de inúmeros outros cobenefícios.

A quantidade de área natural nos municípios da MMP é bastante variável, tanto em percentual quanto em valores absolutos, e essa dinâmica afeta o provimento de serviços ecossistêmicos. As transições de uso e cobertura da terra nos últimos 30 anos culminaram em um saldo praticamente neutro na MMP, no entanto, as transições ocorreram, pois 53% dos municípios incrementaram suas áreas naturais, e 47% as diminuíram.

No tocante ao abastecimento urbano, 58% dos municípios da MMP necessitam de investimento para continuar mantendo o fornecimento à crescente demanda. Ressaltam-se as Regiões Metropolitanas de São Paulo e de Campinas, com a maior parte de seus municípios nessa condição. O saldo de transições para áreas de cobertura natural foi positivo para a RMC e negativo para a RMSP. No entanto, a disponibilidade de áreas naturais para a RMC, em 2018, é menor, com a maior parte de seus municípios mantendo menos de 20% de seu território com cobertura natural, e essa característica é observada em um bloco contínuo de municípios sobre a Região Metropolitana de Sorocaba e a Aglomeração Urbana de Piracicaba.

Além disso, a oferta de serviços ecossistêmicos pode sofrer impactos negativos provocados por alterações na média da temperatura, no volume e na intensidade das chuvas e maiores períodos secos como efeito das mudanças climáticas, mesmo tendo em vista a projeção de um cenário intermediário, em que são consideradas políticas e ações mitigatórias para diminuição de emissões de gases de efeito estufa.

As áreas de provisão de serviços ecossistêmicos extrapolam os limites políticos dos municípios, e, no caso da produção de água para a MMP, extrapolam seus próprios limites, a exemplo das bacias contribuintes do Sistema Cantareira de Abastecimento. Portanto, há necessidade de identificar e mapear os produtores e os consumidores de serviços ecossistêmicos na escala das bacias hidrográficas, a fim de evidenciar os fluxos existentes.

O mosaico de distintos perfis dos municípios da MMP, construído em décadas e com grandes desafios, sobretudo com relação ao abastecimento de água, exige ações de identificação e recuperação de nascentes e áreas degradadas, construção de cidades resilientes, investimento em infraestrutura de abastecimento, estímulos à gestão da demanda, governança adaptativa e implementação de programas de pagamentos de serviços ambientais.

A adoção de políticas e planos municipais de adaptação climática que incorporem essas questões é urgente, sobretudo para os 20 municípios da MMP elencados com percentual de cobertura natural inferior a 20%, com histórico de diminuição de área de cobertura natural no período de análise e com diagnóstico de abastecimento de água desfavorável.

Enfim, é evidente a necessidade de debate em torno de uma gestão integrada da MMP e que busque equalizar as diferenças municipais a fim de melhorar a capacidade dos gestores para compreender o território, identificar seu protagonismo na MMP, suas deficiências e seus potenciais nesse novo arranjo geográfico, que necessita de políticas direcionadas a ações sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Este artigo foi elaborado a partir dos trabalhos de pesquisa no âmbito dos projetos “Governança Ambiental na Macrometrópole Paulista” (FAPESP 15 / 03804-9) e “ELOS - Ampliando as conexões: das relações dose-resposta à governança de serviços ecossistêmicos em a Mata Atlântica” (FAPESP 2018 / 16781-5). Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (fapesp.br/en) - pelo apoio a esses projetos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil**: abastecimento urbano de água. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>. Acesso em: 10 jun. 2020.

AHMADI, E. *et al.* **An Integrated Planning Framework for Sustainable Water and Energy Supply**. Sustainability 2020, v. 12, p. 4295.

AMATO-LOURENÇO, L. F. *et al.* Metrôpoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 113-130, 2016.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 de janeiro de 2021. Seção 1, página 7.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Balança Comercial do MDIC sobre Cajamar – Março de 2018**. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. 1 de abril de 2018. Consultado em 02 de maio de 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Roteiro para a elaboração dos Planos Municipais de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica**. Brasília: MMA, 2013.

CARMO, R. L. do; DAGNINO, R. de S.; JOHANSEN, I. C. Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 31, n. 1, p. 169-190, 2014a.

CARMO, R. L. do; ANAZAWA, T. M.; JOHANSEN, I. C. **Seca nas metrópoles**: materialização de um desastre anunciado. Waterlat-Gobacit Network Working Papers, 2014b.

CARVALHO, P. F.; BRAGA, R. **Perspectivas de gestão ambiental em cidades médias**. Rio Claro: Deplan/IGCE/Unesp, p. 95-109, 2001.

CHOU, S. C. *et al.* Evaluation of the ETA simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 438-454, 2014a.

CHOU, S. C. *et al.* Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 512-525, 2014b.

CODAZZI, J. **Proposta do novo zoneamento em São José é “retrocesso ambiental”, apontam especialistas**. 2019. Disponível em: https://www.ovale.com.br/_conteudo/politica/2019/07/83951-zoneamento--proposta-e-retrocesso-ambiental--apontam-especialistas.html. Acesso em: 27 out. 2019.

COSTA, M. A. *et al.* **Caracterização e Quadros de Análise Comparativa da Governança Metropolitana no Brasil**: análise comparativa das funções públicas de interesse comum (Componente 2) – RM do Rio de Janeiro (Relatório de Pesquisa). Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea. Rio de Janeiro: Ipea, 2015.

COUTINHO, M. P. *et al.* **Áreas de inundação no trecho paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul e nascentes do Cadastro Ambiental Rural. Urbe**: Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management), 2018.

CPTEC/INPE. **Projeções de Mudança do Clima para a América do Sul Regionalizadas pelo Modelo ETA**. Projeta, 2020. Disponível em: <https://projeta.cptec.inpe.br/>. Acesso em: maio de 2020.

DERSA. **Aprimoramento do traçado da Nova Tamoios Contornos reduz impactos socioambientais**. 2013. Disponível em: <http://www.dersa.sp.gov.br/comunicacao/noticias/novidades/aprimoramento-do-tracado-da-nova-tamoios-contornos-reduz-impactos-socioambientais/>. Acesso em: 23 out. 2019.

DI GIULIO, G. M. *et al.* Mudanças climáticas, riscos e adaptação na megacidade de São Paulo, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 8, p. 75-87, 2017.

EMPLASA. **Macrometrópole Paulista**. [on-line]. Disponível em: <https://emplasa.sp.gov.br/MMP>. Acesso em: 2 out. 2019.

FAO. **The Water-Energy-Food Nexus**: a new approach in support of food security and sustainable agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-bl496e.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2020.

FARIA, L. Planejamento estratégico, estatuto da cidade e plano diretor: métodos e instrumentos de organização e gestão do espaço urbano. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 10, n. 32 dez/2009 p. 162-170. [on-line]. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. ISSN 1678-6343

FARINACI, J. S. **As novas matas do estado de São Paulo**: um estudo multiescalar sob a perspectiva da teoria da transição florestal. Campinas, SP: [s.n.], 2012.

FOLKE, C. *et al.* Adaptive governance of social-ecological systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 30, p. 441-473, 2005.

FRACALANZA, A. P.; FREIRE, T. M. Crise da água na Região Metropolitana de São Paulo: a injustiça ambiental e a privatização de um bem comum. **Geosp Espaço e Tempo** [on-line], v. 19, n. 3, p. 464-478, 2015.

GCOM. **Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e a Energia**. Disponível em: <http://pactodealcaldes-la.eu/pt-br/>. Acesso em: abr. 2021.

GRAAFLAND, A. "Mapping Urban Complexity". In: SECOND MEGACITIES CONFERENCE 2006, 2006, Guangzhou. Second Megacities Conference – **Proceedings**. Guangzhou, 2006.

HOGAN, D. J. *et al.* Urbanização e vulnerabilidade socioambiental: o caso de Campinas. In: HOGAN, D. J. *et al.* (org.). **Migração e ambiente nas aglomerações urbanas**. Campinas: Nepo/Unicamp, p. 395-418, 2001.

JACOBI, P. R.; TORRES, P.; GRESSE, E. G. Governing Shallow Waters: SDG 6 and Water Security in São Paulo. In: Unesco i-WSSM. 2019. **Water Security and the Sustainable Development Goals**. Global Water Security Issues (GWSI). Case Studies, Unesco i-WSSM, Daejeon.

JARDIM, M. H. **Pagamentos por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso do município de Extrema – MG**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/2010_Marina. Acesso em: jun. 2021.

KOWARICK, L. **Viver em risco: sobre a vulnerabilidade no Brasil urbano**. 2002. Disponível em: http://www.uff.br/observatoriojovem/sites/default/files/documentos/20080627_viver_em_risco_1.pdf. Acesso em: 20 dez. 2017.

LEONEL, A. L.; ZIONI, S.; MOMM, S. Macrometrópole Paulista: apontamentos sobre uma nova unidade de planejamento. In: XVIII ENANPUR 2019. **Anais [...]**. 2019. ISSN: 1984-8781.

LIMA, A. P. M. de. *et al.* **Pagamento por Serviços Ambientais Hídricos no Brasil: experiências iniciais e os desafios do monitoramento**. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94057/1/pagamento-por-servicos.pdf>. Acesso em: jun. 2021.

LIRA, P. *et al.* Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 278, p. 80-89, 2012. 10.1016/j.foreco.2012.05.008.

LYRA, A. *et al.* Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic ETA regional climate model at 5-km resolution. **Theoretical and applied climatology**, v. 132, n. 1-2, p. 663-682, 2018.

MARQUES, A. R. *et al.* Governança da água no Vale do Paraíba Paulista: rede de atores e sistemas socioecológicos. **Ambiente e Sociedade** [on-line]. 2020, v. 23, e01381. Epub June 08, 2020. ISSN 1809-4422. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190139r1vu2020l2de>.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well Being: synthesis**. Island Press, 2003.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças Climáticas e Cidades**. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. RIBEIRO, S. K.; SANTOS, A. S. (Ed.). PBMC, Coppe – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PAVANI, B. F. *et al.* Pagamentos por serviços ecossistêmicos para proteção de recursos hídricos na área de proteção ambiental da bacia do Rio Paraíba do Sul. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo. v. 23, 2020, Special Issue n 2020;23:e01341.

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 365, p. 2959-2971, 2010. Disponível em: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/365/1554/2959.full>. Acesso em: dez. 2017.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: set. 2019.

ROCKWELL, R. **Cities and global environmental changes**. 1999.

RODRIGUES, E. A.; VICTOR, R. A. B. M.; PIRES, B. C. C. A Reserva da Biosfera do cinturão verde da cidade de São Paulo como marco para a gestão integrada da cidade, seus serviços ambientais e o bem-estar humano. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 2, p. 71-89, 2006.

SAMPAIO, M. R. A.; PEREIRA, P. C. X. Habitação em São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 17, n. 48, p. 167-183, 2003.

SÃO PAULO (Município). Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente. **Guia dos Parques Municipais de São Paulo**. 3. ed., 2012.

SORIANO, É. *et al.* Identificação e análise da comunicação do risco de desastres naturais em municípios do estado de São Paulo (Brasil). **Revista da Anpege**, [s. l.], v. 12, n. 19, p. 390-408, jun. 2017. ISSN 1679-768X. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6387/3338>. Acesso em: 23 out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5418/RA2016.1219.0016>.

SOUSA JÚNIOR, W. C. Water and Energy Nexus under Climate Change Scenarios: lessons from Brazil. **New Water Policy & Practice**, v. 4, n. 2, 2018.

SOUSA JÚNIOR, W. C. *et al.* Water: drought, crisis and governance in Australia and Brazil. **Water**, v. 8, n. 11, p. 493-502, 2016.

THE STATE OF THE WORLD'S CITIES 2004/2005. **Globalization and urban culture**. UN-Habitat. ISBN 1-84407-159-6.

TORRES, P. H. C.; JACOBI, P. R. Dossiê especial fórum de governança ambiental da Macrometrópole Paulista. Editorial n 2020;23:e0002. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo. vol. 23, 2020.

UNDRR. **The Ten Essentials for Making Cities Resilient**. Making Cities Resilient: my city is getting ready. Disponível em: <https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/toolkit/article/the-ten-essentials-for-making-cities-resilient>. Acesso em: abr. 2021.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). **World Urbanization Prospects: the 2014 revision (ST/ESA/SER.A/366)**, 2015.

URBINATTI, A. M.; FERREIRA, L. da C. As políticas climáticas e seus desafios em megacidades: padrões de governança em Pequim e São Paulo. **Ideias**, Campinas, SP, v. 10, p. e019001, 2019. DOI: 10.20396/ideias.v10i0.8656195. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ideias/article/view/8656195>. Acesso em: 4 jun. 2021.

VERBURG, P. H. *et al.* From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 3, p. 1327-1335, 2009. ISSN 0301-4797.