

IV-910– UMA METODOLOGIA PRAGMÁTICA DE PROJEÇÕES DE COBERTURA E USO DA TERRA NO ESTADO DE SÃO PAULO PARA FINS DE PLANEJAMENTO EM RECURSOS HÍDRICOS

Luiz Henrique Werneck de Oliveira⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista pela Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia, Cientista Social pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, Mestre em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e Doutor em Planejamento e Gestão do Território pela Universidade Federal do ABC. Consultor da COBRAPE.

Alessandra Piovan Teixeira Ribeiro

Engenheira Ambiental e Urbana e Bacharel em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do ABC (UFABC). Pós-Graduanda no MBA em Recuperação Ecológica e Licenciamento Ambiental pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Engenheira Ambiental na COBRAPE.

Renato Dias Machado

Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo Centro Universitário FMU. Engenheiro de Produção pela ESEG - Faculdade do Grupo Etapa. Consultor em Engenharia e GIS; consultor da COBRAPE.

Wagner Jorge Nogueira

Engenheiro Civil com especialização em hidráulica e hidrologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pós-graduação em hidráulica pela COPPE, Universidade federal do Rio de Janeiro. Pós-graduação em Análise de Sistemas pelas Faculdades Objetivo. Consultor da COBRAPE.

Endereço⁽¹⁾: Rua Professor Oswaldo Teixeira, 183 – Vila Progredior – São Paulo – SP – CEP: 05617-020 – fone +11-981-933-691 – e-mail: luizwerneck64@gmail.com

RESUMO

Projeções de cenários futuros de cobertura e uso da terra carecem de metodologias confiáveis para prognosticar tendências de mudanças com espacialização territorial. Não é raro que sejam feitas com base em arbítrios ou apostas de evolução dos usos da terra, afetando ações de modelagem qualitativa e quantitativa de recursos hídricos, tornando menos robustos os exercícios de planejamento. Para aumentar a robustez e a confiabilidade de tais projeções, este trabalho utilizou dados de cobertura da terra do IBGE em quadriculas de 1km² entre 2000 e 2016 para construir projeções no âmbito do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (PERH) 2020-2023, computando as probabilidades de mudanças dos usos predominantes para 2023, 2035 e 2050. Empregou-se o procedimento de Cadeia de Markov para determinar tais probabilidades ao invés de coeficientes arbitrários de curvas estatísticas tradicionais. Isto permitiu identificar mudanças sequenciais e sucessivas de cobertura da terra, no caso do estado de São Paulo, com expansão de áreas agrícolas sobre pastagens e destas sobre mosaicos florestais. A metodologia produziu resultados pragmáticos para assegurar robustez nas recomendações de gestão nestes horizontes de planejamento de recursos hídricos no estado de São Paulo, e é replicável para outras porções territoriais brasileiras.

PALAVRAS-CHAVE: Projeções de Uso do Solo, Cobertura da Terra, Recursos Hídricos, Estado de São Paulo, Inovação Metodológica.

INTRODUÇÃO

O planejamento de recursos hídricos apresenta interfaces quantitativas e qualitativas com a cobertura e uso da terra. Usos impermeabilizantes aumentam os deflúvios, gerando problemas de inundações e extravasamentos de calhas de rios, associados a processos erosivos e de assoreamento. Outros usos do solo envolvem atividades capazes de lançar cargas poluidoras localizadas e difusas nos corpos d'água.

É comum que o planejamento de recursos hídricos utilize cenários de projeções futuras, mas as projeções de usos do solo e cobertura da terra demandam pragmatismo para não aumentar as incertezas de modelagens computacionais quali-quantitativas. Os resultados de modelagens matemáticas são influenciados por fatores geralmente pouco tangíveis de como será a ocupação futura do território.

As mudanças nas formas de ocupação do território decorrem de fatores sociais, econômicos, políticos, ambientais, históricos e culturais. Por exemplo, atualmente existem pressões das demandas por *commodities* agropecuárias, tais como os derivados da cana-de-açúcar (etanol e açúcar), carne (bovina, suína e aves), polpa de celulose, produção de papel etc. O atendimento a tais demandas afeta diretamente a dinâmica de cobertura da terra.

A impossibilidade de prever a justaposição dessas variáveis no futuro fez com que se buscasse desenvolver uma metodologia de projeção baseada na tendência observada nos mapeamentos de cobertura da terra do IBGE (2018), que consistem principalmente na detecção de expansão e/ou retração das categorias de coberturas da terra. Nas análises, coube destaque para as coberturas rurais, em especial ao crescimento de áreas classificadas como agrícolas sobre aquelas de ocupação mista ou até então dedicadas ao pastoreio.

Este artigo apresenta uma metodologia pragmática, baseada na Cadeia de Markov (ANTON e RORRES, 2018), para evitar decisões arbitrárias ou mesmo subjetivas que influenciem no estabelecimento de cenários futuros de cobertura e uso da terra para o planejamento de recursos hídricos. Essa metodologia foi aplicada com sucesso na elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (PERH) 2020-2023 (CRH, 2020) para os anos de 2023, 2035 e 2050, subsidiando a realização de modelagens quantitativas (balanço hídrico) e qualitativas (qualidade da água em função de cargas poluidoras) dos recursos hídricos.

A despeito de ter sido desenvolvida para o planejamento de recursos hídricos no estado de São Paulo, por ser baseada nas quadriculas de cobertura da terra do projeto de “Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil” do IBGE (2018), que categoriza o território brasileiro em quadriculas de 1 km², divididas em 11 categorias de cobertura da terra predominante no território, esta metodologia se mostra robusta e confiável, e é replicável em qualquer outro estado brasileiro e/ou outros recortes territoriais específicos dentro do território nacional.

A **Tabela 1** mostra as 11 categorias de usos do solo predominantes considerados pelo IBGE no projeto de “Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil” (IBGE, 2018), com base em interpretação de imagens de satélite para indicação do uso predominante em cada quadricula de 1km x 1km (1km²) do território nacional.

Tabela 1: Categorias de Uso e Cobertura da Terra Consideradas pelo IBGE

Categoria	Descrição
1 - Área Artificial	Predomínio de superfícies antrópicas não agrícolas, infraestruturas urbanas em geral e áreas de mineração.
2 - Área Agrícola	Lavouras temporárias, semi-perenes e permanentes, irrigadas ou não.
3 - Pastagem com Manejo	Áreas destinadas ao pastoreio do gado e outros animais, com vegetação herbácea cultivada ou vegetação campestre com interferências antrópicas de alta intensidade.
4 - Mosaico de Ocupações em Área Florestal	Ocupação mista de agricultura, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes florestais.
5 - Silvicultura	Plantios florestais de espécies exóticas ou nativas como monoculturas.
6 - Vegetação Florestal	Formações arbóreas com porte superior a 5 metros de altura.
7 - Área Úmida	Vegetação natural herbácea, permanentemente ou periodicamente inundada.
8 - Vegetação Campestre	Formações de vegetação com estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um estrato gramíneo-lenhoso, podendo estar sujeitas a pastoreio e a outras interferências antrópicas de baixa intensidade.
9 - Mosaico em Ocupações em Área Campestre	Ocupação mista de agricultura, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes campestres.
10 - Corpo D'Água Continental	Águas interiores.
11 - Corpo D'Água Costeiro	Águas costeiras.

OBJETIVOS

O objetivo principal do desenvolvimento da metodologia aqui apresentada foi determinar a justaposição das taxas de crescimento das “áreas agrícolas” sobre as demais categorias de cobertura e uso da terra utilizadas pelo IBGE (2018), mantendo-se como limites territoriais físicos a própria dimensão do estado de São Paulo, o congelamento das “áreas artificiais”, bem como da categoria de “corpos d’água continentais” (uma vez que as áreas costeiras não integram o território do estado, considerando as áreas úmidas em sua maioria já confundidas com os corpos d’água continentais e as massas d’água decorrentes de múltiplos barramentos existentes ao longo dos principais rios paulistas).

Isso implica em determinar como a expansão da área dedicada à agricultura tende a avançar sobre as categorias “pastagem com manejo”, “mosaico de ocupações em área florestal”, “silvicultura”, “vegetação florestal”, “vegetação campestre”, e “mosaico de ocupações em área campestre”, totalizando sempre o mesmo número de quadrículas do território estadual ao longo do tempo.

Um objetivo secundário inicial era permitir a desagregação das tendências de alterações no uso do solo e respectiva análise nas 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) como divisões territoriais de planejamento e gestão dos recursos hídricos no estado de São Paulo, realizando-se a seleção por quadrículas cujos centroides se localizassem em cada uma das 22 UGRHIs.

Outro objetivo secundário foi desenvolver uma metodologia que pudesse ser replicada em outros recortes territoriais brasileiros sabidamente mais pressionados por mudanças, como o desmatamento na Amazônia Legal Brasileira, além de pressões similares sobre o Cerrado e mesmo sobre a Caatinga, justificando o uso de dados do próprio IBGE disponíveis para todas as unidades da federação, onde há biomas distintos daqueles predominantes no território paulista, mas também classificados pelo IBGE nas 11 categorias empregadas pela instituição (IBGE, 2018).

METODOLOGIA UTILIZADA

Além da de cobertura da terra do IBGE, avaliaram-se estudos auxiliares à compreensão das alterações tendenciais de usos da terra, tais como Pesquisas Agropecuárias Municipais do IBGE (IBGE, 2019a), Censo Agropecuário (IBGE, 2019b), o Zoneamento Agroambiental do Setor Sucoalcooleiro do Estado de São Paulo de 2009 (SÃO PAULO, 2009), o Estudo de Dinâmica Territorial da Produção Agropecuária: A Geografia da Cana-de-Açúcar (IBGE, 2017), o Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil 1985-2017 (ANA, 2019), e, os Planos de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) disponíveis (CDRMSP, 2019; EMPLASA, 2017a; 2017b; 2018a; 2018b).

Adotou-se os centroides das quadrículas de 1km² para definir a que UGRHI as quadrículas pertenciam, e contou-se as áreas equivalentes a cada uma das categorias de uso e cobertura da terra para os anos de 2000, 2010, 2012, 2014 e 2016 do IBGE em cada UGRHI. O estado de São Paulo foi esquematicamente dividido em 921 linhas verticais (Leste-Oeste) e 614 linhas horizontais (Norte-Sul), totalizando 248.217 quadrículas de 1km², cada qual designada em uma das 11 categorias de cobertura da terra que lhe fosse dominante.

A projeção numérica utilizou uma curva logística de “taxa decrescente de crescimento”. Tal metodologia é originária de projeções populacionais com tendências à saturação. Transplantada para estimar a expansão territorial de determinada categoria de cobertura da terra, a fórmula aplicada na projeção é mostrada na Equação (1).

$$A_{estimativa} = A_0 + (A_s - A_0) * [1 - e^{-K(t-t_0)}] \quad (1)$$

Onde: $A_{estimativa}$ é a área estimada para a categoria, para cada ano (t); A_0 é a área inicial, ou seja, no ano de 2000 (t_0); A_s é a área de saturação, ou área limítrofe para o crescimento, em determinado ano (t), não ocorrendo,

necessariamente, dentro do período de planejamento; e K é um coeficiente a ser obtido, preferencialmente, por meio de regressão não linear.

Para o cálculo dos parâmetros A_s e K através de regressão não linear, utilizou-se a ferramenta “*Solver*” do MS *Excel*[®], buscando a maior aproximação entre a área estimada para cada ano (curva projetada) e as áreas constantes no mapeamento do IBGE (dados observados). No entanto, para evitar tendências com crescimento muito acentuado de algumas categorias, definiu-se, como limitante para A_s , que a variação máxima entre 2016 e o ano de saturação (estabilização da variável) deveria ser igual ou menor à variação observada entre 2000 e 2016 para determinada categoria. Em algumas UGRHIs o crescimento de áreas agrícolas foi tão acentuado no período mapeado pelo IBGE (2000-2016) que a aplicação da tendência sem limitantes para o A_s implicaria numa substituição quase que total das demais tipologias de cobertura da terra pelo uso agrícola, ferindo uma das premissas do estudo.

Com a aplicação do “*Solver*” do MS *Excel*[®] para todas as 11 categorias de cobertura da terra com variações positivas e a aplicação dos parâmetros A_s e K da Equação (1) acima, obtiveram-se os resultados projetados para essas categorias nos horizontes futuros de planejamento de 2023 (então definido como curto prazo), 2035 (médio prazo) e 2050 (longo prazo).

Realizou-se, então, a espacialização dos resultados para tais anos, em três etapas: (a) elaboração da matriz de probabilidade de transição (M_1), também chamado de Cadeia de Markov (ANTON e RORRES, 2001); (b) ajuste para atingimento da meta, através de Matrizes de Distribuição Ajustadas (M_2); e, (c) modelo *Visual Basic* (MS *Excel*[®]), para espacializar os resultados.

Com a matriz de transição (M_1) realizou-se a interação entre as projeções de cada categoria e sua dinâmica de transição de estado, multiplicando-se o número de quadriculas de cada categoria pelas probabilidades da matriz de transição. Assim, determinou-se quantas quadriculas de cada categoria permaneceram na mesma classificação de 2000 a 2016, e quantas quadriculas foram convertidas em outras categorias.

Os valores das Matrizes de Distribuição Ajustada (M_2) obtidas para cada UGRHI, e para cada ano do horizonte de planejamento foram, então, utilizados para a espacialização das alterações na cobertura da terra projetadas.

O modelo utilizado, programado em *Visual Basic* (MS *Excel*[®]) introduziu pesos e restrições para que fossem priorizadas alterações em áreas onde a categoria de uso pretendida ocorre em um maior número de quadriculas circundantes. Para exemplificar a adoção de pesos, considerou-se o seguinte exemplo: alguma quadricula categorizada como “Pastagem com Manejo” (categoria 3) deverá passar a ser classificada como “Área Agrícola” (categoria 2). O modelo avalia o entorno de todas as quadriculas de número “3”, e lhes atribui maior peso para alteração quanto maior o número de células de número “2” adjacentes às células de número “3”.

As células de maiores pesos foram alteradas para o uso estimado, e as substituições de categoria continuam a ocorrer até que todas as substituições previstas na Matriz de Distribuição Ajustada (M_2) sejam executadas.

Ao fim da execução do modelo em *Visual Basic*, obteve-se, na planilha, quatro mapas para cada UGRHI: o mapa inicial, relativo ao mapeamento IBGE de 2016; e três mapas com a espacialização da projeção, cada qual relativo a um dos horizontes de planejamento adotados: 2023 (curto prazo), 2035 (médio prazo) e 2050 (longo prazo). Esse resultado pode, então, ser transferido ao *shapefile* inicial para geração de mapas comparativos, através dos códigos estabelecidos inicialmente para cada quadricula.

O modelo introduziu pesos e restrições para que fossem priorizadas alterações em áreas onde a categoria de uso pretendida ocorre em um maior número de quadriculas circundantes. As células de maiores pesos foram alteradas para o uso estimado, resultando em quatro mapas para cada UGRHI: o mapa inicial, relativo ao mapeamento IBGE de 2016; e três mapas com a espacialização da projeção para cada ano pretendido (2023, 2035 e 2050).

RESULTADOS OBTIDOS

A **Tabela 2** apresenta as áreas obtidas para cada categoria de cobertura da terra no estado de São Paulo, para cada um dos horizontes de planejamento considerados. Na sequência, o gráfico da **Figura 1** ilustra a variação dos quantitativos projetados para o período (dispersão) e a **Figura 2** mostra o mesmo como barras empilhadas.

Tabela 2: Resultados da Projeção do Uso e Cobertura da Terra para o Estado de São Paulo

Porção Territorial	Ano	Área (km ²)											Total
		Área Artificial	Área Agrícola	Pastagem com Manejo	Mosaico de Ocupação em Área Florestal	Silvicultura	Vegetação Florestal	Área Úmida	Vegetação Campestre	Mosaico de Ocupação em Área Campestre	Corpo d'Água Continental	Corpo d'Água Costeiro	
Estado de SP	2016	7.495	100.483	36.296	52.373	10.199	27.873	8	3.044	6.169	4.251	26	248.217
	2023	7.521	106.14	34.493	49.065	10.541	27.595	8	2.929	5.642	4.251	26	
	2035	7.548	112.43	32.452	45.593	10.801	27.207	8	2.798	5.098	4.251	26	
	2050	7.567	116.72	31.514	42.809	10.972	26.963	8	2.653	4.727	4.251	26	

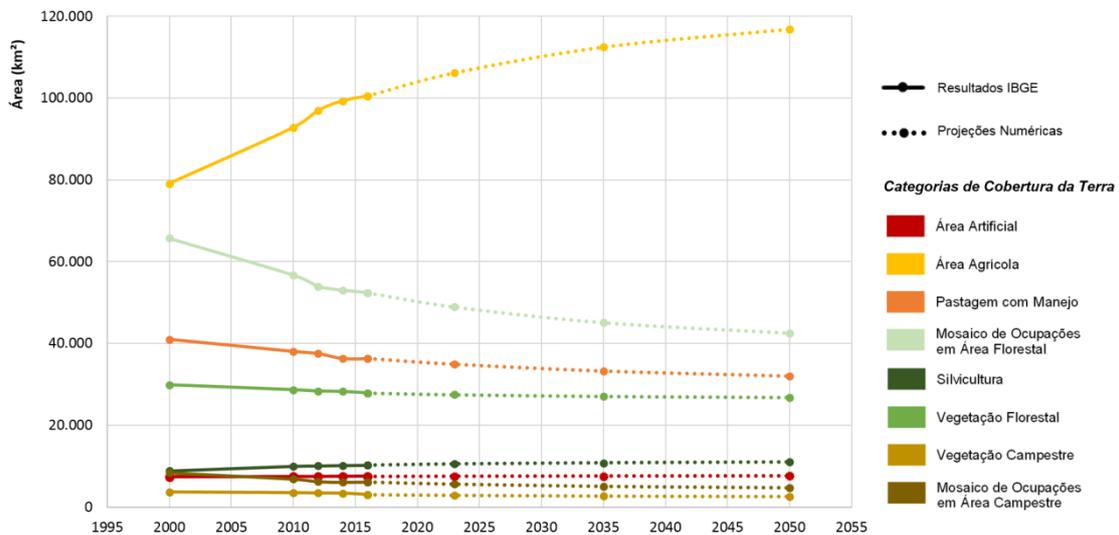


Figura 1: Projeções Numéricas da Cobertura da Terra no Estado de São Paulo (Dispersão)



Figura 2: Projeções Numéricas da Cobertura da Terra no Estado de São Paulo (Barras Empilhadas)

As visões mapeadas sobre os limites do território paulista em *shapefile* são mostradas a seguir. A **Figura 3** mostra o Mapa que retoma os resultados do mapeamento do IBGE para o ano de 2016, e as **Figuras 4, 5 e 6** mostram, respectivamente, os mapas das projeções com a espacialização da projeção da cobertura da terra para os anos de 2023, 2035 e 2050.

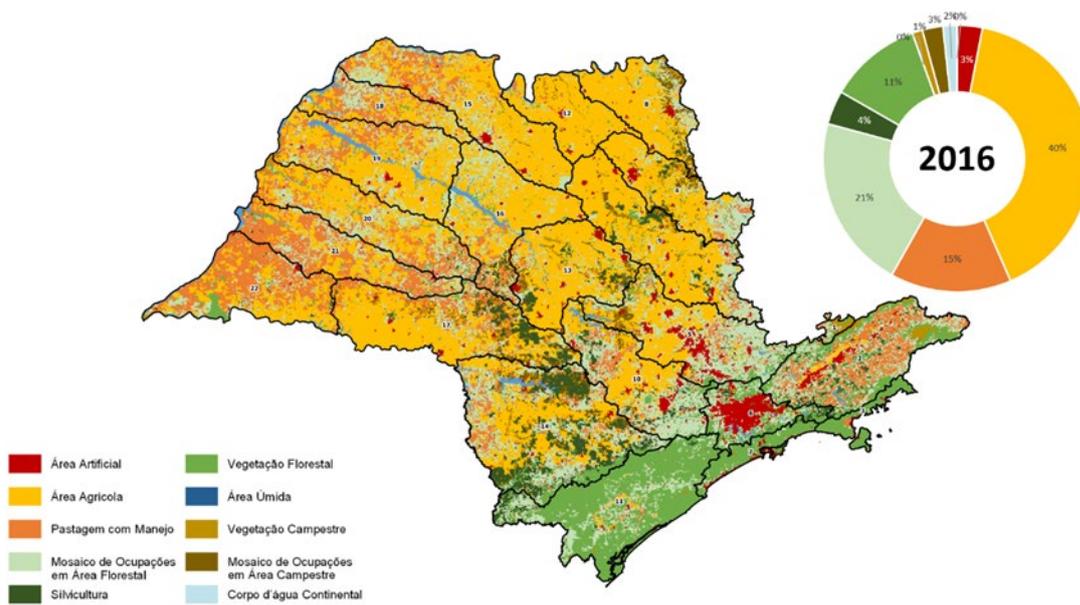


Figura 3: Mapa de Cobertura da Terra para 2016

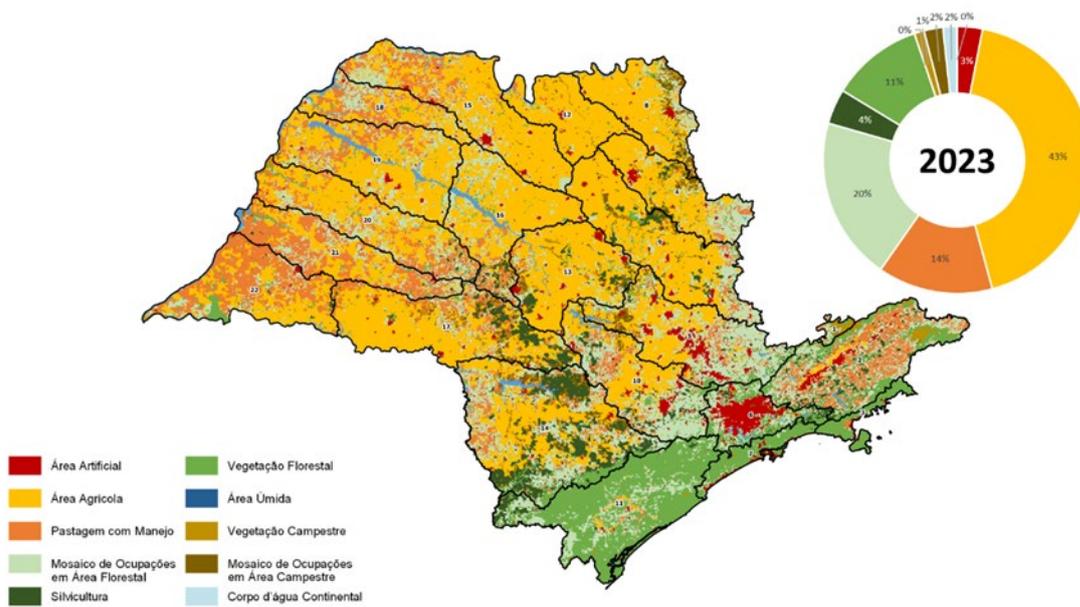


Figura 4: Mapa de Projeção da Cobertura da Terra para 2023

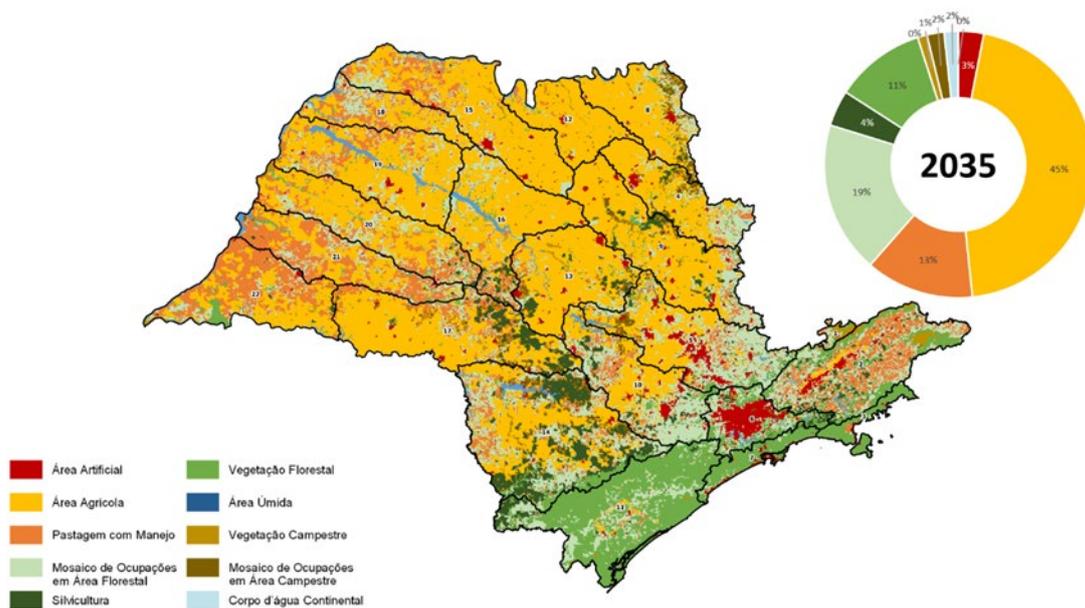


Figura 5: Mapa de Projeção da Cobertura da Terra para 2035

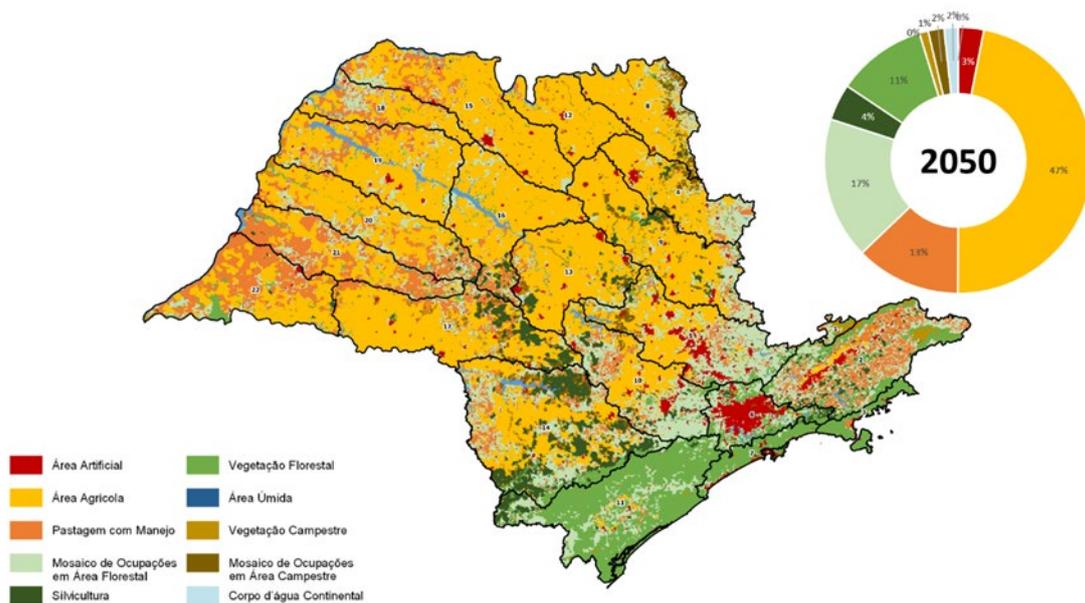


Figura 6: Mapa de Projeção da Cobertura da Terra para 2050

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As projeções de cobertura da terra realizadas com base nas tendências históricas de alterações do mapeamento correspondente feito pelo IBGE de 2000 a 2016 apontam para uma continuidade da expansão das áreas agrícolas no estado de São Paulo. Estima-se que, em 2050, a categoria de áreas agrícolas deverá atingir de uma extensão total de 166.727 km², equivalente a 47% do território do estado. Esse incremento significa um crescimento das áreas agrícolas em aproximadamente 16% em relação ao território ocupado por esse uso em 2016, tornando-se mais fortemente hegemônica dentre as demais categorias no estado de São Paulo.

A comparação entre os Mapas das Figuras 3, 4, 5 e 6 permite identificar o avanço da cobertura agrícola no interior do estado de São Paulo. Também o uso de pastagens com manejo tende a aumentar, principalmente

sobre os mosaicos de ocupações em áreas florestais. Esses avanços tornam a cobertura da terra menos segmentada e menos diversa, com manchas contínuas mais extensas de agricultura e pecuária. Também é perceptível o avanço das áreas agrícolas sobre áreas hoje dedicadas à silvicultura.

Por outro lado, também o uso de pastagens com manejo tende a aumentar, principalmente sobre os mosaicos de ocupações em áreas florestais. Esses avanços tornam a cobertura da terra menos segmentada e menos diversa, com manchas contínuas mais extensas de agricultura e pecuária. Em outros locais também é perceptível o aumento das áreas agrícolas, avançando, inclusive, sobre áreas hoje dedicadas à silvicultura (que compete com áreas agrícolas, mas nesse caso específico, em desvantagem).

Apesar de a projeção indicar, em algumas regiões, a substituição de coberturas de vegetação florestal pelos mosaicos de ocupação em áreas florestais, essa última categoria foi aquela com maior probabilidade de redução em termos de extensão total de área entre 2016 e 2050, tanto em termos absolutos quanto em termos relativos: tende a perder 9.564 km² (18% de sua extensão em 2016), até 2050.

As coberturas da terra que se expandem sobre os mosaicos de ocupações em áreas florestais são as áreas agrícolas, as pastagens com manejo, as áreas de silvicultura, e até mesmo as áreas artificiais (urbanas). Isto é consistente, pois se trata de uma categoria de cobertura da terra de uso misto que pode evoluir para quaisquer das categorias ali presentes.

No que diz respeito às áreas artificiais (que incluem as áreas urbanas e são fortemente influenciadas por sua expansão), verifica-se crescimento relativamente pequeno em escala estadual, de modo que essa cobertura se mantém em torno de 3% da extensão total do estado ao longo de todo o horizonte de planejamento de 2050, com um incremento projetado em apenas 72 km² (vide **Tabela 2** anterior).

Assim, constatou-se que há uma tendência de áreas agrícolas se expandirem sobre áreas de pastagem com manejo, mas também destas últimas se expandirem sobre áreas de mosaicos de ocupações em áreas florestais, formando um ciclo de mudança da cobertura da terra detectado entre 2000 e 2016 que tende a continuar, ainda que com taxas de probabilidade de mudança mais abatidas, até 2050.

A metodologia desenvolvida e aplicada no estado de São Paulo se mostrou robusta e consistente para identificar as tendências de mudança e para projetar a cobertura da terra para os horizontes de planejamento de curto prazo (2023), médio prazo (2035) e longo prazo (2050). Para isso, foi essencial a projeção individual para cada uma das UGRHIs, evitando “mascarar” as tendências específicas de cada região na totalidade do território paulista.

CONCLUSÕES

Esta metodologia evitou as limitações presumidas de que o uso de metodologias puramente matemáticas (lineares, logarítmicas ou polinomiais cujos coeficientes seriam arbitrários) suplantaria a totalidade do território estadual com áreas agrícolas e/ou praticamente extinguiriam outros usos, como áreas de pastagem com manejo e áreas de silvicultura, que dificilmente serão impedidos de continuarem a existir por pressão econômica. Tal viés de projeções mais simples precisava ser corrigido para tornar as projeções mais robustas, e a metodologia aqui apresentada mostrou-se eficaz nesse sentido.

Ainda que a escala da projeção especializada não permita maior detalhamento da cobertura da terra (uma vez que o mapeamento e as projeções foram feitos nas quadriculas de 1 km² definidas pelo IBGE), os resultados obtidos permitiram avaliar a influência da alteração da cobertura da terra no balanço hídrico quantitativo e qualitativo do estado de São Paulo como um todo, atingindo os objetivos pretendidos.

Ao avaliar os resultados das projeções, deve-se atentar não apenas aos resultados quantitativos finais, que muitas vezes não demonstram a dinâmica do processo de alteração da cobertura da terra, mas principalmente à “trajetória” de alterações que se apresenta em uma etapa intermediária da modelagem. A construção da Matriz de Transição, calculada utilizando com base no modelo probabilístico estocástico denominado Cadeia de Markov, possibilita avaliar como as alterações ocorrem.

Verificou-se que, na maior parte das vezes, o fluxo segue a seguinte ordem: a vegetação natural (florestal ou campestre) se transforma em seu mosaico de ocupações respectivo, e a esse uso se segue qualquer um dos outros, que podem vir a ser urbanos (áreas artificiais) ou não urbanos (áreas agrícolas, pastagens com manejo e

silvicultura). No caso de usos não urbanos, foi comumente verificada a tendência de alteração de mosaicos para pastagens e, posteriormente, para usos agrícolas.

Finalmente, como a metodologia analisa e identifica as tendências de mudança na cobertura da terra para os anos de 2000, 2010, 2012, 2014 e 2016 com base nos sucessivos estudos de *Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil*, que cobre os 8,5 milhões de quadriculas de 1km² (todo o território nacional), a metodologia aqui apresentada pode ser replicada para outras porções e recortes territoriais brasileiros para fins de projeção de cobertura da terra em cenários temporais similares.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA), especialmente à Coordenadoria de Recursos Hídricos (CRHi), pela autorização para publicar as informações aqui apresentadas em complementação à elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (PERH) 2020-2023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil*. 2ed. Brasília: ANA, 2019. 47p. il.
2. _____. *Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada*. Brasília: ANA, 2017.
3. ANTON, H.; RORRES, C. *Álgebra Linear com Aplicações*. Tradução Claus Ivo Doering. 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
4. CDRMSP. CONSELHO DE DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO. *Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado – Região Metropolitana de São Paulo: Caderno de Propostas*. São Paulo: CDRMSP, 2019.
5. CRH. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. *Plano estadual de recursos Hídricos 2020-2023*. São Paulo: SIMA/CRHi, 2020. Disponível em <https://www.sigrh.sp.gov.br/perh20202023>. Acesso em dezembro de 2020.
6. EMPLASA. EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO. *Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado – Região Metropolitana de Campinas: Caderno Preliminar de Propostas*. Campinas: EMPLASA, 2018a.
7. _____. *Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado - Aglomeração Urbana de Jundiaí: Diagnóstico Regional*. EMPLASA, 2018b.
8. _____. *Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado - Aglomeração Urbana de Piracicaba: Diagnóstico Regional*. EMPLASA, 2017a.
9. _____. *Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado – Região Metropolitana de Sorocaba: Relatório Preliminar GT de Macrozoneamento*. EMPLASA, 2017b.
10. IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *PAM – Produção Agrícola Municipal 2018*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019a. Dados disponíveis em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?edicao=25369&t=sobre>. Acesso em fevereiro de 2020.
11. _____. *Censo Agropecuário 2017*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019b. Disponível em < <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>>. Acesso em outubro de 2019.
12. _____. *Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2014-2016*. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.
13. _____. *A Geografia da Cana-de-Açúcar*. Dinâmica Territorial da Produção Agropecuária. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.
14. SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA). Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento (SAA). *Resolução Conjunta SMA/SAA-006*, de 24 de setembro de 2009. Altera o Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo.