

ANÁLISE DA PAISAGEM EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS COMO FERRAMENTA DE COMPREENSÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL

Aichely Rodrigues da Silva¹

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASul)
Imperatriz, MA, Brasil

Claudinei José Rodrigues²

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ESEC Carijós
Florianópolis, SC, Brasil

Alessandra Larissa D' Oliveira Fonseca³

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Florianópolis, SC, Brasil

Enviado em 31 jul 2020 | Aceito em 26 jul. 2022

Resumo: A paisagem indica os impactos antropogênicos que afetam os cursos d'água pelo uso e cobertura da terra, sendo a análise da sua mudança em uma bacia hidrográfica uma ferramenta estratégica para avaliar a qualidade das águas superficiais. A pesquisa teve o objetivo de analisar as mudanças das paisagens em três bacias hidrográficas em uma década, entre os anos de 2006 e 2016, relacionando-as à qualidade ambiental avaliada *in loco*. Foram averiguadas bacias hidrográficas da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis - SC, a saber, dos rios: Ratonos, Itacorubi e Tavares. As imagens de satélite *LandSat* dos anos de 2006 a 2016 foram utilizadas para análise da paisagem e relacionadas com a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR). Notou-se que as manchas urbanas nas áreas investigadas sofreram aumento de 319% na BH do Rio Tavares, 105% na BH do Rio Ratonos e 8% na BH do Rio Itacorubi, além de alteração na qualidade ambiental. Nessas bacias hidrográficas foram encontrados fatores que provocam a degradação das águas, entre eles: urbanização, desmatamento das matas ciliares, ineficiência do tratamento de efluentes domésticos e despejo de resíduos sólidos. A análise da paisagem servirá para compreender a tendência futura desta qualidade ambiental frente às modificações propostas pelo poder público.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica. Paisagem. Qualidade ambiental.

ANALYSIS OF THE LANDSCAPE IN COASTAL HYDROGRAPHIC BASINS AS A TOOL FOR UNDERSTANDING ENVIRONMENTAL QUALITY

Abstract: The landscape says the anthropogenic impacts that affect water courses by land use and cover, and the analysis of its change in a watershed is a strategic tool to assess the quality of surface waters. The research aims to analyze the changes of the landscape in three watersheds between the years 2006 and 2016, relating to environmental quality assessed *in loco*. We investigated the watershed of the island of Santa Catarina, Florianópolis - SC, namely the rivers: Ratonos, Itacorubi and Tavares. The *LandSat* satellite images from 2006 to 2016 were used for landscape analysis and associated to the application of the Rapid Assessment Protocol (RAP). It was noted that urban spots in the areas investigated had an increase of 319% basin River Tavares, 105% of the river Ratonos and 8% in River Itacorubi, and

1. Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professora Adjunta da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9447-2380>. E-mail: aichely.rodrigues@uemasul.edu.br

2. Mestre em Perícia Criminais Ambientais pela Universidade Federal de Santa Catarina. Analista Ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ESEC Carijós. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6325-0793>. E-mail: claudinei.rodrigues@icmbio.gov.br

3. Doutora em Oceanografia Química e Geológica pela Universidade de São Paulo. Coordenadora Especial em Oceanografia da UFSC; Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7488-1611>. E-mail: alessandra.larissa@ufsc.br

changes in environmental quality. In these basins, we found factors that cause the degradation of water, including urbanization, deforestation of riparian forests, inefficiency of the treatment of domestic wastewater and solid waste disposal. The landscape analysis will serve to understand the future trend of this environmental quality forward to the changes proposed by the government.

Keywords: Watershed. Landscape. Environmental Quality

EL ANÁLISIS DEL PAISAJE EN CUENCAS COSTERAS COMO HERRAMIENTA PARA COMPRENDER LA CALIDAD AMBIENTAL

Resumen: El paisaje indica los impactos antrópicos que afectan los cursos de agua por uso y cobertura del suelo, y el análisis de su cambio en una cuenca es una herramienta estratégica para evaluar la calidad de las aguas superficiales. La investigación tiene como objetivo analizar los cambios del paisaje en tres cuencas hidrográficas en una década, entre 2006 y 2016, relacionándolos con la calidad ambiental evaluada *in loco*. Fueron investigadas las cuencas hidrográficas de la Isla de Santa Catarina, Florianópolis - SC, a saber, los ríos: Ratones, Itacorubi y Tavares. Las imágenes satelitales LandSat de 2006 a 2016 se utilizaron para el análisis del paisaje y se relacionaron con la aplicación del Protocolo de Evaluación Rápida (PER). Se observó que las áreas urbanas en las áreas investigadas aumentaron en un 319% en el CH del Río Tavares, en un 105% en el CH del Río Ratones y en un 8% en el CH del Río Itacorubi, además de cambios en la calidad ambiental. En estas cuencas se encontraron factores que provocan la degradación del agua, entre ellos: urbanización, deforestación de bosques ribereños, ineficiencia en el tratamiento de efluentes domésticos y disposición de residuos sólidos. El análisis del paisaje servirá para comprender la tendencia futura de esta calidad ambiental frente a los cambios propuestos por el poder público.

Palabras clave: Cuenca Hidrográfica. Paisaje. Calidad Ambiental.



Introdução

A análise da paisagem indica os impactos antropogênicos que afetam os cursos d'água pelo uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica. A análise da paisagem de bacia hidrográfica, nesta pesquisa, foi baseada na definição do artigo 1º da Convenção Europeia da Paisagem (2000), como uma área, tal como é percebida pelas pessoas, cujo carácter é o resultado da ação e interação de fatores naturais e/ou humanos. Para Besse (2014, p.34) a paisagem é uma obra coletiva das sociedades, ela "não é a natureza, mas o mundo humano tal qual como ficou inscrito na natureza ao transforma-lá". Ademais, as modificações na paisagem no entorno dos cursos d'água influenciam nas propriedades bióticas e abióticas das águas superficiais (GERGEL *et al.*, 2002). Nessa perspectiva, a qualidade ambiental das bacias hidrográficas é afetada por interferências antropogênicas, tais como a urbanização, a expansão das atividades agropecuárias e das atividades industriais que promovem alterações sobre a qualidade das águas (HADDAD; MAGALHÃES JÚNIOR, 2010). Os impactos antropogênicos causados nos recursos hídricos são potencializados pela diversificação do uso das águas, falta de gerenciamento e pelos problemas sociais locais, que refletem na dinâmica ecossistêmica e, principalmente, na saúde humana.

A avaliação das transformações de uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas, com base na análise da paisagem, se deu pela utilização de técnicas de sensoriamento remoto e pela avaliação da paisagem *in loco*, pela aplicação de Protocolo de Avaliação Rápida (PAR). Para Florenzano (2008) sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens feita à distância, isto é, sem o contato físico entre o sensor e objetos na superfície terrestre, na qual é necessária a emissão da energia emitida pela superfície terrestre. Tal técnica contribui com o estudo de diversos ambientes e amplia a compreensão das estruturas ecossistêmicas e das suas interações (RUDORFF *et al.*, 2007) e com a caracterização do uso e ocupação da terra em bacias hidrográficas como aplicado por Leite e Rosa (2012). Para Nucci, Valaski e Estêvez (2019) os problemas ambientais podem ser causados por padrões espaciais (cobertura da terra) e atividades humanas (uso da terra) que podem alterar as funções do ambiente natural e afetar os processos físicos, como ocorrem nas bacias hidrográficas.

O enfoque dado à paisagem tem como perspectiva a compreensão da relação dos elementos da paisagem com as atividades antrópicas na bacia hidrográfica, neste estudo caracterizada pela aplicação do PAR. Essa é uma análise visual empírica da paisagem que pode ser empregada como instrumento complementar no monitoramento dos recursos hídricos (RODRIGUES; CASTRO, 2008). O PAR foi elaborado por Plafkin *et al.* (1989) e aperfeiçoado por Minatti-Ferreira e Beaumord (2006). Sua primeira aplicação deu-se em rios dos Estados Unidos da América (PLAFKIN *et al.*, 1989), sendo modificado e aplicado em outros países e ambientes (HANNAFORD; BARBOUR RESH, 1997; CALLISTO *et al.*, 2002; BRINSON *et al.*, 2013; KANDZIORA; BURKHARD; MÜLLER, 2013). No Brasil, o PAR foi aplicado pela primeira vez por Callisto *et al.* (2002) em ambientes aquáticos de Minas Gerais e do Rio de Janeiro. Apesar de ser um método de avaliação qualitativa, o PAR fornece dados básicos sobre a vida aquática e a qualidade do rio, como a presença da mata ciliar e a diversidade de habitat e permite inferir sobre o estado trófico da água (SILVA, 2019).

Nesta pesquisa, foi analisada a paisagem das bacias hidrográficas (BHs) dos Rios Ratonos, Itacorubi e Tavares, que estão localizados na Ilha de Santa Catarina, Florianópolis - SC. A Ilha de Santa Catarina tem sofrido um aumento exponencial de residentes nas últimas décadas, o que sugere mudança nos usos e cobertura da terra e na qualidade da água dos rios. A pesquisa teve por objetivo analisar como a mudança da paisagem pode servir para descrever os usos e cobertura da terra e sua relação com a qualidade ambiental nas bacias hidrográficas. Para avaliar essa relação, três bacias hidrográficas com diferentes usos e ocupação foram utilizadas nessa pesquisa. Essas bacias hidrográficas apresentaram características semelhantes quanto à geomorfologia e à presença dos estuários em áreas de proteção ambiental. Esse manuscrito está estruturado em três sessões, sendo: a) a análise da paisagem das bacias hidrográficas por sensoriamento remoto; b) análise da paisagem pela aplicação do PAR; e, por fim, as considerações finais, com base no enfoque teórico-metodológico e nos resultados obtidos.

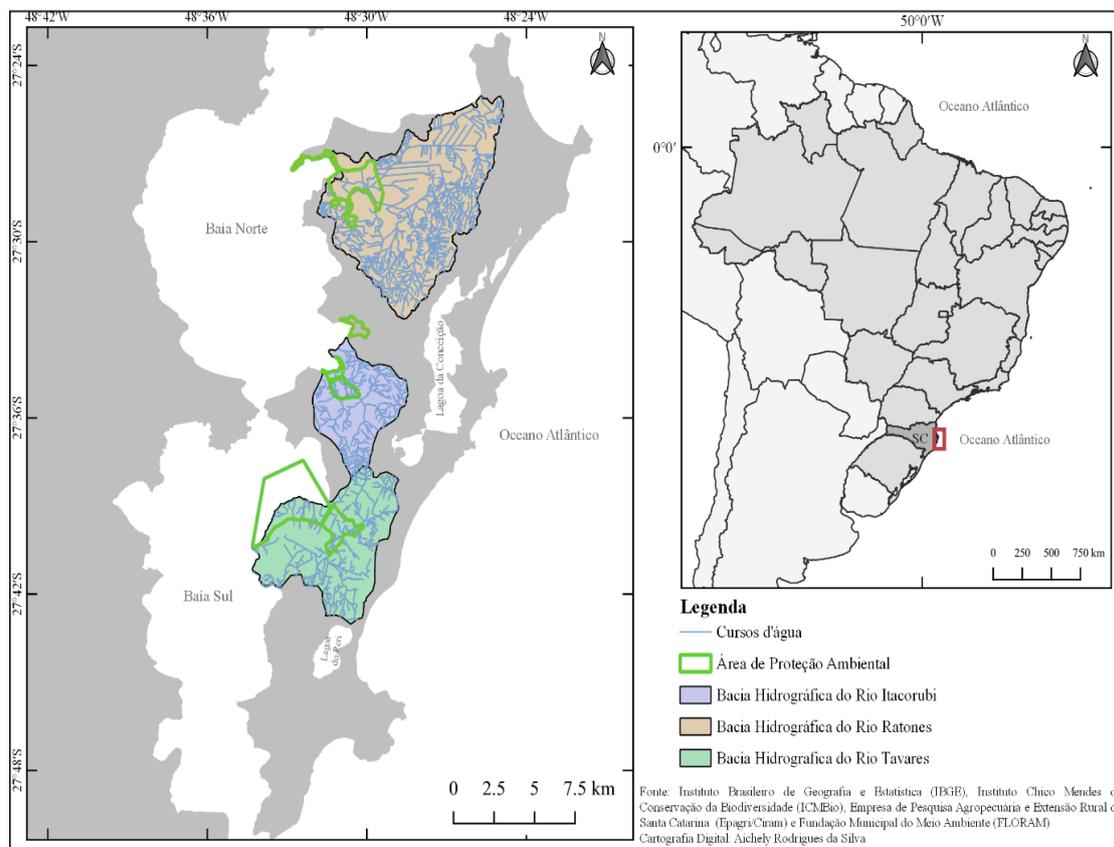
Materiais e métodos

Área de Estudo

As BHs dos Rios Ratonos, Itacorubi e Tavares estão localizadas na Ilha de Santa Catarina, município de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina (Figura 1). A BH do Rio Ratonos possui área de 85,9 km², tendo em seu território a Estação Ecológica de Carijós (ESEC Carijós). Essa BH comporta uma população em torno de 32.673 habitantes (FERRETTI, 2013). Essa BH sofre com impactos antropogênicos que ocorrem diretamente sobre o rio devido à retificação e ao despejo de efluentes domésticos de fonte difusa (ligações clandestinas) e pontual da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Canasvieiras, além do uso e cobertura da terra, e da supressão de áreas naturais e zonas úmidas para desenvolvimento da mancha urbana.

A BH do Rio Itacorubi possui área de 28 km² e comporta um Parque Municipal. A população dessa bacia hidrográfica é de cerca de 66.804 habitantes (FERRETTI, 2013). A BH do Rio Itacorubi compreende uma área visada pela especulação imobiliária e pelos serviços comerciais, o que traz prejuízos ambientais, tais como: poluição dos corpos hídricos, despejo de efluentes domésticos e desmatamento (RIGOTTI, 2015), incluindo a ocupação irregular de áreas de preservação permanente (APP), como encostas e matas ciliares.

Figura 1 - Localização das bacias hidrográficas dos rios Ratoes, Itacorubi e Tavares



Fonte: Autores (2020).

A BH do Rio Tavares, por sua vez, engloba uma área de 50 km² e está localizada no Sul da Ilha. Para a proteção dessa região, em 1992, foi criada, na parte Sul da enseada, a Reserva Extrativista de Pirajubaé (SCHETTINI; PEREIRA; SPILLERE, 2000; DIEDERICHSEN, 2014). Essa bacia hidrográfica possui cerca de 37.017 habitantes (FERRETTI, 2013) e abrange os distritos de Ribeirão da Ilha, Campeche e parte do Centro. Atualmente, a alteração da área natural da bacia ocorre pelas obras de infraestrutura da região. Além disso, existe uma pedreira licenciada para a extração de brita.

Análise da paisagem das bacias hidrográficas por sensoriamento remoto

Para analisar a década de mudança na paisagem (entre 2006 e 2016) utilizaram-se as imagens de satélite *LANDSAT TM* (*Thematic Mapper*) L5, datadas de 2006-09-05, e de *LANDSAT OLI/L8*, datadas de 2016-09-09, com Órbita/Ponto: 219/079, obtidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O conhecimento e o monitoramento do uso e ocupação da terra é essencial para a compreensão da forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem (LEITE; ROSA, 2012). Na elaboração do mapa de uso do solo, aplicou-se a classificação semiautomática com auxílio do *plugin SCP* (*Semi-Automatic Classification Plugin*), com o complemento do QGIS (CONGEDO, 2017). O SCP realiza classificação do tipo supervisionada, em que é necessário fornecer amostras de *pixels* para cada classe de uso de cobertura escolhida para mapear. No SCP, essas amostras de *pixels* são delimitadas por polígonos, que recebem o nome de *Region of Interest* (ROI). As amostragens dos ROI's foram coletadas em forma de polígonos (*shapefile*) e classificados conforme os usos e cobertura da

terra, os quais foram posteriormente importados pelo SCP para o cálculo da assinatura espectral, conforme Congedo (2017) e Pereira e Guimarães (2019). Para a categorização das classes de uso da terra nesta pesquisa, os seguintes ROIs foram selecionados: cobertura florestal, manguezal, área úmida, solo exposto, mancha urbana e mineração. Adotou-se o método de *Maximum Likelihood*, que calcula as distribuições de probabilidade das classes relacionadas ao Teorema de Bayes (CONGEDO, 2017). Após a classificação semiautomática pelo SCP, compararam-se os algoritmos para quantificar os erros gerados pelo processo, pelas matrizes de erro, entre os dados provenientes das amostras de validação e o resultado da categorização (CONGEDO, 2017). Assim, foi calculada a acurácia, ou seja, os erros de inclusão e de omissão por classe temática e o coeficiente Kappa, por Landis e Koch (1977 *apud* SILVEIRA *et al.*, 2013), que auxilia na avaliação do classificador, sendo: < 0 (péssimo); $0,01 < k \leq 0,2$ (ruim); $0,21 < k \leq 0,4$ (razoável); $0,41 < k \leq 0,6$ (bom); $0,61 < k \leq 0,8$ (muito bom) e $0,81 < k \leq 1,0$ (excelente). As análises tiveram classificação entre muito bom e excelente, tanto a classificação da acurácia como a do coeficiente de Kappa, demonstrando que a classificação foi satisfatória (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultado da análise da classificação semiautomática das bacias hidrográficas, para 2006 e 2016

Ano	Bacia Hidrográfica	Acurácia	Classificação de Kappa
2006	Ratones	78%	0,68
	Itacorubi	73%	0,99
	Tavares	87%	0,98
2016	Ratones	86%	0,81
	Itacorubi	73%	0,60
	Tavares	73%	0,65

Fonte: Autores (2020).

Além disso, aplicou-se a técnica de geoprocessamento para elaboração de mapas temáticos no *software QGIS 3.10 A Coruña* (QUANTUM GIS TEAM, 2020).

Análise da paisagem das bacias hidrográficas por protocolo de avaliação rápida *in loco*

O PAR proposto por Silva *et al.* (2016) foi aplicado nos meses de novembro a dezembro de 2017. Esse protocolo é uma análise visual que verifica as condições das margens (incluindo a presença de erosão), da vegetação ciliar, da qualidade da água (alteração na cor e cheiro, presença de resíduos sólidos), a intensidade de urbanização e a presença de fauna. Pela sua característica sistêmica, o PAR pode ser usado como instrumento para a tomada de decisões que afetam diretamente a qualidade ambiental da bacia hidrográfica. O valor final do PAR foi obtido a partir do somatório dos valores atribuídos a cada parâmetro e com as condições encontradas no dia da observação *in loco*. Os valores do PAR foram avaliados conforme as observações da paisagem encontrada *in loco*, sendo que a pontuação de 0 a 25 representa a área impactada; de 26 a 50, a área alterada; e de 51 a 75, a área natural, conforme quadro 1.

Quadro 1- Protocolo de Avaliação Rápida (PAR)

LEGENDA	5 PONTOS	2,5 PONTOS	0 PONTO
1 - Presença de mata ciliar	Acima de 90% da vegetação ripária	Entre 50 e 70% com vegetação nativa com presença de desflorestamento	Menos de 50% da mata ciliar nativa
2 - Extensão da mata ciliar	Largura da vegetação ripária maior que 18m (sem atividade antrópica)	Largura da vegetação ripária entre 6 e 12m (com presença de atividade antrópica).	Largura da vegetação ripária menor que 6m (vegetação restrita)
3 - Vegetação circundante	Espécies nativas bem preservadas	Vegetação constituída por espécies nativas e vegetação exótica escassa	Vegetação constituída por espécies exóticas e vegetação nativa escassa
4 - Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	Vegetação Natural	Campo de pastagem/ Agricultura/ Monocultura/ Reflorestamento	Residencial/ Comercial/ Industrial
5 - Tipo de Fundo	Areia/Lama	Areia / Resíduo sólido (lixo, material de construção civil etc.)	Cimento/ Canalizado
6 - Erosão próxima e/ou das margens do rio e assoreamento no leito	Ausente	Moderada	Acentuada
7- Transparência da água	Transparente	Turva	Opaca ou colorida
8 - Sinuosidade do Canal	Ocorrência de curvas	Habitat monótonos pouca presença de curvas	Canalização/ canal reto
9 - Alteração no canal do rio	Não canalizado	40 a 80% do rio modificado	Margens modificadas acima de 80%
10 - Outras alterações antrópicas das margens	Ausente	Alterações de origem doméstica (esgoto, lixo etc.)	Alterações de origem industrial/urbana (fábricas, canalização, retificação)
11- Fonte pontuais de poluição visível	Ausente	Moderada	Acentuada
12-Despejo de resíduos sólidos	Ausente	Moderado	Acentuado
13 - Urbanização nas proximidades do curso de água	Ausente	Moderada	Intensa
14 - Presença de vegetação aquática oportunistas no leito do rio	Ausência de vegetação aquática no leito	Pouca presença de vegetação aquática	Grande quantidade de vegetação aquática
15 - Presença de fauna nativa (peixes, répteis, mamíferos etc.)	Visível presença da fauna	Presença distinta da fauna	Sem presença de fauna

Fonte: Silva *et al.* (2016)

Tratamento dos dados

A análise de correlação de Pearson entre os valores do PAR e o percentual das classes de uso e cobertura da terra na área de abrangência de cada ponto amostral das bacias hidrográficas permitiu averiguar a dependência da qualidade ambiental a partir desses fatores. Os dados foram normalizados e padronizados e, em seguida, submetidos à análise de correlação simples. Essa análise se deu pelo *software* R, versão 3.1.2. (R Core Team, 2019), com auxílio os pacotes *ggpubr* (KASSAMBARA, 2020) e *corrgram* (WRIGHT, 2018).

Resultados e discussão

A classificação do uso e da ocupação da terra nas BHs dos Rios Ratonos, Itacorubi e Tavares, entre os anos de 2006 e 2016, demonstrou alteração na paisagem. Nessas bacias hidrográficas foram encontrados fatores que provocaram a alteração do balanço hídrico e a degradação das águas, entre eles: a urbanização, a perda das matas ciliares, a ineficiência do tratamento de efluentes domésticos e o despejo de resíduos sólidos.

Tabela 2 - Categoria de uso e ocupação do solo, em km² e em porcentagem (%) da área total, das bacias hidrográficas e porcentagem (%) de diferença entre as áreas ocupadas em 2006 e 2016

Bacia Hidrográfica	Categoria	2006		2016		Diferença %
		km ²	%	km ²	%	
Ratonos	Urbana	9,6	10,7	19,7	23,5	105
	Cobertura Florestal	37,5	44,4	42,1	49,5	12
	Manguezal	7,6	9,0	5,9	7,5	-22
	Restinga	7,2	8,6	3,8	4,5	-47
	Área Úmida	13,5	16,0	10,3	12,1	-24
	Solo Exposto	9,2	10,0	1,9	2,5	-79
Itacorubi	Urbana	11,8	43,0	12,8	46,0	8
	Cobertura Florestal	12,3	44,0	13,7	49,3	11
	Manguezal	1,4	5,0	1,3	4,7	-7
	Solo Exposto	2,3	8,2	---	---	---
Tavares	Urbana	3,6	22,2	15,1	30,1	319
	Cobertura Florestal	14,0	28,1	14,1	27,9	1
	Manguezal	7,2	14,4	6,7	13,4	-7
	Restinga	8,7	17,6	6,5	13,1	-25
	Área Úmida	4,1	8,3	3,7	7,7	-10
	Solo Exposto	3,6	7,3	3,1	6,2	-14
	Mineração	0,6	1,2	0,8	1,5	33

Fonte: Autores (2018).

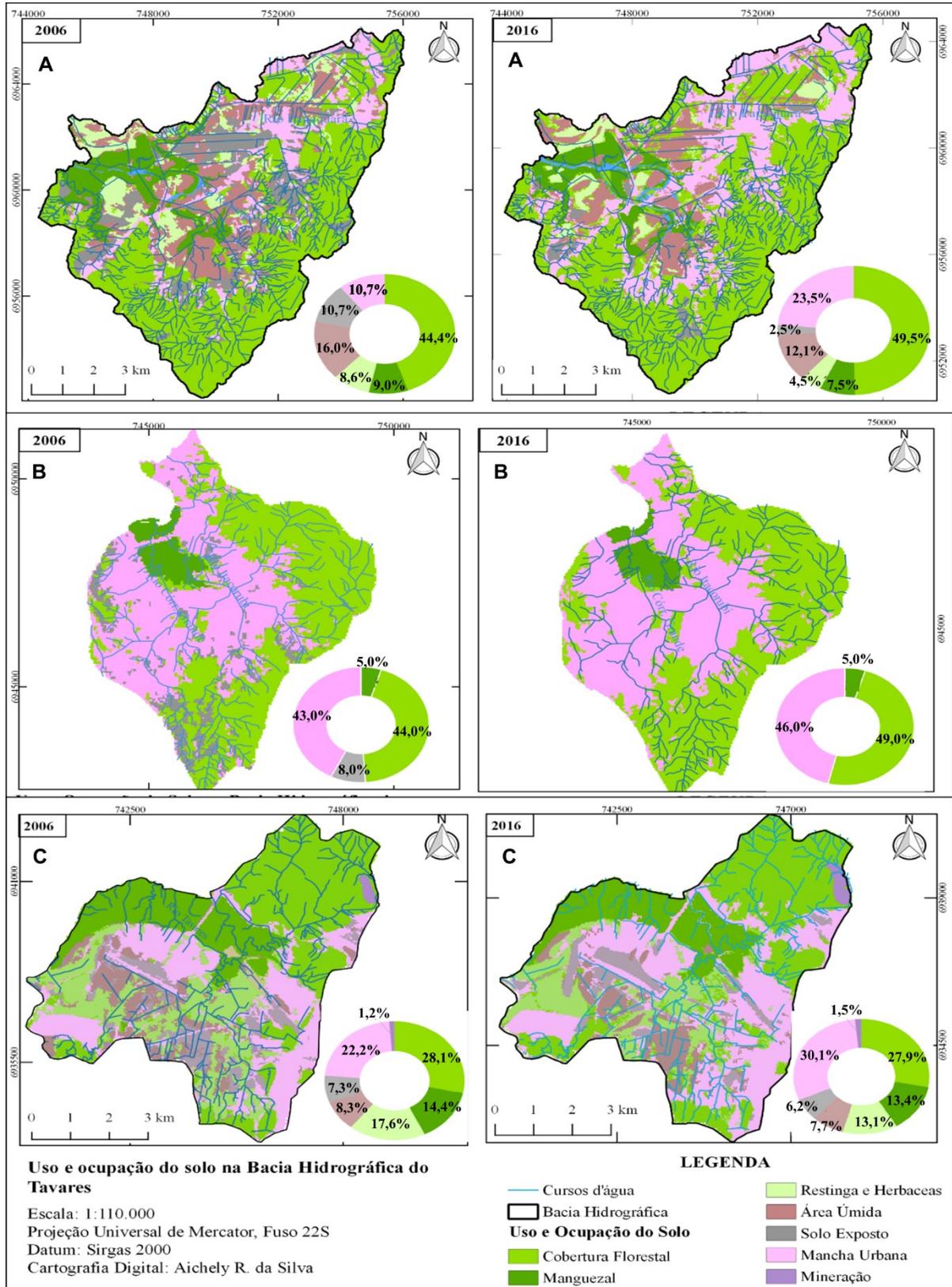
A área de mancha urbana encontrada na bacia do Rio Ratonos, em 2006, ocupava 10,7% (9 km²), metade da área encontrada em 2016: com os investimentos na infraestrutura na área e o crescimento da especulação imobiliária, o aumento da mancha urbana dobrou, passando para 23,2% (20 km²), na tabela 2. Na BH do Rio Tavares, em 2006, essa área representava 22,2% (3,6 km²), passando para 30,1% (15 km²) da área da bacia hidrográfica em 2016. Na BH do Rio Itacorubi, embora esse aumento tenha sido menor (8%), retratou a maior proporção em mancha urbana de todas: 46% da área total da bacia em 2016. Na BH do Rio Itacorubi, Bernady (2000) relatou que, em 1938, a urbanização ocupava apenas 0,3 km² (1,1%), mas a agropecuária abrangia 1,7 km² (6,1%). Ou seja, em 78 anos (de 1938 a 2016), a área urbanizada na BH do Rio Itacorubi cresceu 50 vezes. A evolução da mancha urbana revela a potencial perda da qualidade ambiental nas bacias hidrográficas analisadas, desta forma, a paisagem se faz como um elemento político relevante para promover soluções de problemas que afetam os lugares e a vida das pessoas (SOUZA, 2018).

O aumento nas áreas de mancha urbana nas bacias hidrográficas analisadas pode causar alteração no ciclo hidrológico, pelo aumento da impermeabilização do solo, pela redução na infiltração, aumento do escoamento superficial contaminado por poluentes devido ao uso do solo, tráfego na região e lançamento de efluentes domésticos nos cursos d'água. Outro dado importante diz respeito à classificação de Schueler, Fraley-Mcneal e Capiella (2009): segundo essa classificação, as bacias hidrográficas com urbanização acima de 10% são consideradas impactadas. Ao investigar diferentes bacias hidrográficas com variados níveis de urbanização em Massachusetts-EUA, Tu (2011) verificou que a qualidade da água decresceu com o aumento da mancha urbana, ou seja, quanto mais urbanizada a área, pior foi a qualidade da água. Nessas condições de intensa urbanização, as bacias hidrográficas, de acordo com Tucci e Clark (1997) e Tufford *et al.* (2003) têm a menor capacidade de reciclagem e de remoção dos nutrientes que geram a eutrofização.

Para a classe de cobertura florestal, as BHs do Rio Ratonos e Itacorubi demonstraram possível regeneração ou incremento de vegetação exótica nas áreas de encosta de mais de 10%, na tabela 2. Na primeira, BH do Rio Ratonos, foi observada a regeneração da cobertura florestal pela vegetação secundária e exótica (*Pinus*) na proximidade de um condomínio particular e da ETE Canasvieiras. Entretanto, na BH do Rio Itacorubi, a regeneração pode ter ocorrido nas encostas em áreas acima da cota de 100 m, que são Área de Preservação Permanentes (APP) pela legislação ambiental brasileira.

Quanto ao manguezal do Ratonos, esse sofreu redução de 22% da sua área no período: em 2006, tinha 7,6 km², ou seja, representava 9% da extensão da bacia hidrográfica; já em 2016, compunha 7,5% (6 km²). Vale frisar que o manguezal do Ratonos é uma área de proteção federal protegida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Nota-se que a área de manguezal foi reduzida fora da ESEC pela urbanização que ocupa as margens dos rios Ratonos e Papaquara. O manguezal do Tavares sofreu perda territorial de 7%, já que, em 2006, ocupava 7,2 km², passando para 6,7 km² em 2016.

Figura 2 - Mapa de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas dos rios:
Ratones (A), Itacorubi (B) e Tavares (C) em 2006 e 2016



Fonte: Autores (2018).

As áreas úmidas estão sujeitas a alagamento – característica da baixa declividade (0 a 8%) e do solo de planície lacustre – e foram representativas nas BHs do Ratores e do Tavares. Em 2006, essas áreas cobriam cerca de 16% (13,5 km²) da área da bacia, e, em 2016, esse percentual reduziu para 12% (10 km²). A BH do Rio Itacorubi, por apresentar mais de 40% da área urbanizada desde o início da pesquisa, não apresentou a categoria de áreas úmidas. As áreas úmidas definidas pelo Ramsar (1971) constituem recurso de grande valor econômico, cultural, científico e recreativo, cuja perda seria irreparável (SOARES; DOMINGUEZ, 2012). Em Florianópolis, na parte insular, os alagamentos dos terrenos de menor cota altimétrica, que antes eram ocupados pelas áreas úmidas, são frequentes. No cenário das mudanças globais e do aumento do nível do mar em cidades costeiras, as áreas úmidas devem ser preservadas e restauradas, com a finalidade de garantir o fluxo natural das águas e evitar perdas sociais e econômicas. Além disso, com o aumento do nível do mar, essas áreas úmidas serão potenciais espaços a serem ocupados pelo manguezal, garantindo os bens e serviços oferecidos por esse ecossistema. Essas áreas são, ainda, importantes para a ciclagem de nutrientes e depuração da matéria orgânica vinda da bacia hidrográfica (ALONGI, 2018), o que reforça a sua importância como zona de amortecimento (ZA) para as Unidades de Conservação (UCs).

Outra questão diz respeito à falta da delimitação da ZA, o que contribui para o avanço dos impactos antropogênicos (PIMENTA, 2013): nenhuma das UCs indicadas nesta pesquisa possui demarcação das ZAs. A lei nº 9.985/2000, do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (BRASIL, 2000), determina que as ZAs tenham controle de uso acoplado ao objetivo da conservação, minimizando as fortes pressões antrópicas e garantindo a finalidade das UCs (BEIROZ, 2015). Os usos múltiplos no entorno de uma UC que não seguem normas de ordenamento geram impactos, tais como: poluição do solo e de corpos hídricos, introdução de espécies exóticas, isolamento e extinção de espécies locais (LI *et al.*, 2009). O solo exposto demonstrou redução de 79%, o que pode ter ocorrido pela regeneração da vegetação arbórea, que hoje é composta de cobertura vegetal, ou por ter sido ocupada pela expansão da mancha urbana consolidada na BH do Rio Ratores. As áreas de solo exposto na BH do Rio Itacorubi representavam 8% (12 km²) da área em 2006, porém, em 2016, não foi possível identificar essa categoria, o que está associado ao aumento da densidade urbana.

Na BH do Rio Tavares foi observado, ainda, outro estressor ambiental: a área de extração mineral, em especial, de granito e brita, que está a menos de 2 km da nascente do rio Tavares. No Estudo de Impacto Ambiental (EIA, 2015) para supressão da vegetação e ampliação da área de extração mineral, a alteração da qualidade da água dos recursos hídricos foi apontada como um impacto que causaria o aumento da turbidez e dos sólidos em suspensão na água superficial.

Análise da paisagem *in loco* nas bacias hidrográficas

A análise visual da paisagem por meio da aplicação do PAR classificou a BH do Rio Ratores como alterada (PAR = 44), variando de 17 a 60, na Figura 3. A melhor avaliação da qualidade ambiental ocorreu na foz do rio Papaquara (P1, PAR = 62) e na foz do Ratores (P4, PAR = 60), que juntos formam o estuário do Ratores. Esse fato corrobora a importância das áreas de manguezal na bacia hidrográfica, dado que esses pontos amostrais possuíam 14% (6,2 km²) e 25% (0,3 km²) com esse tipo de uso do solo, nesta ordem. A boa qualidade ambiental encontrada se deu pelo fato de o manguezal estar preservado. Entretanto, no rio Papaquara estava sendo feita uma obra para restauração do seu curso natural, o que provocou um aumento de material em suspensão e turbidez, diminuindo a pontuação desse item no PAR. Como apontado por Kristensen (2008), Tundisi e Matsumura-Tundisi (2010) e Li *et al.* (2014), a vegetação ciliar e as áreas de manguezais são

importantes biofiltros geoquímicos naturais e sua supressão reduz a qualidade das águas costeiras que recebem poluentes das bacias hidrográficas.

Todavia, na BH do Itacorubi, as melhores condições ambientais foram observadas nos pontos 1, 2 e 7, na Figura 3. O P7 está localizado próximo da nascente do rio, apresentando PAR de 67. Nesse local, a água é captada para o abastecimento público. Esse ponto amostral possui sua área com 97% (1,7 km²) de vegetação natural. Além disso, é uma área bem preservada, com extensa mata ciliar e fauna nativa, o que inclui a presença de camarão-pitu (*Macrobrachium carcinus*).

Na BH do Rio Tavares, o PAR classificou o ponto amostral próximo à nascente como natural, com PAR igual a 72, na Figura 3. Nas proximidades desse local, a construção da ETE Sul da Ilha está prevista pela empresa de saneamento do Estado de Santa Catarina (CASAN). Essa área é bem preservada, com a presença de vegetação ciliar, matéria orgânica grossa (folhas, galhos e troncos de árvores) dentro do corpo hídrico, apresentando boas condições ambientais para a fauna local. Vale destacar, ainda, que, na BH do Rio Tavares, o P1 localizado no estuário obteve PAR igual a 55 (natural) por apresentar manguezal preservado. Esse ponto possui área com 35% (2,8 km²) de mancha urbana. Isso se reflete nas condições encontradas na área, como deposição de lixo (resíduo sólido) e de conchas de berbigão, devido à atividade extrativista desse recurso.

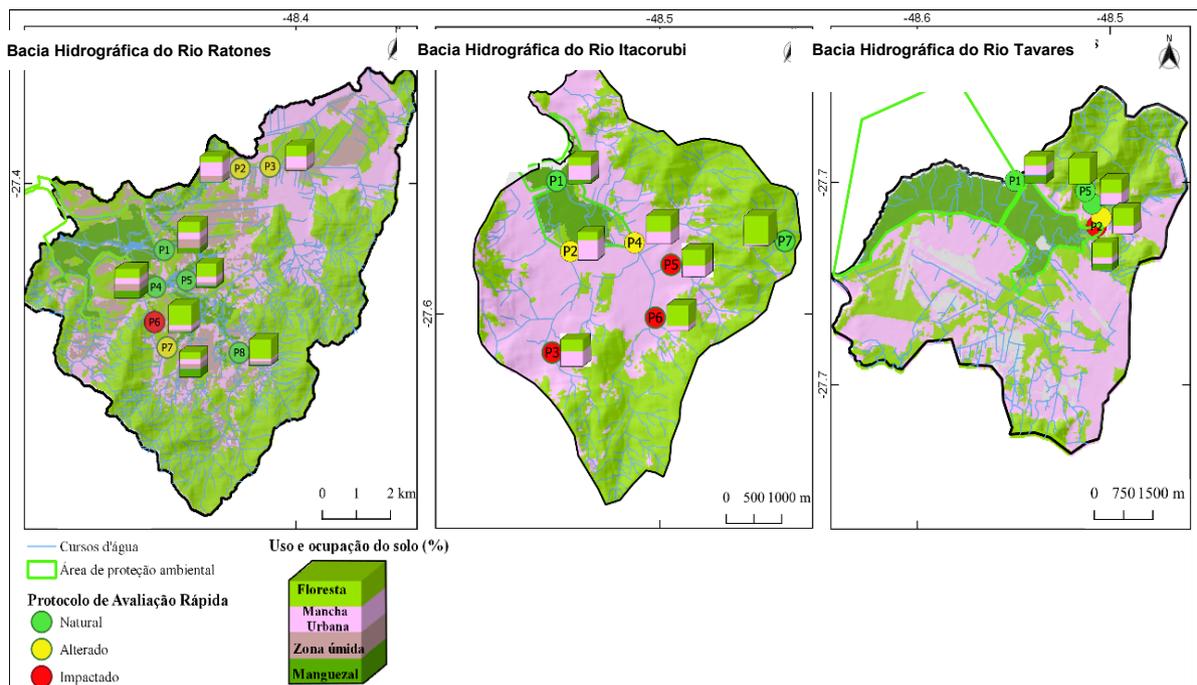
As BHs avaliadas neste estudo possuem áreas de manguezal protegidas como unidade de conservação (BRASIL, 2000). O manguezal do Tavares está na área da Reserva Extrativista (RESEX) Pirajubaé, cujo objetivo é o de garantir o modo de vida tradicional pela exploração do berbigão (*Anomalocardia brasiliensis*). Entretanto, o objetivo da área de proteção está ameaçado pelos impactos apontados pelo PAR (desmatamento, lançamento de efluentes, avanço da mancha urbana, entre outros); pelas mudanças climáticas, como as ondas de calor (FELLER *et al.*, 2017; CARNEIRO *et al.*, 2020); e pela pesca ilegal e sobrepesca (PEZZUTO; SOUZA, 2015). Como apontado por Spínola, Teixeira e Andriguetto Filho (2014), a RESEX está com a integridade socioambiental ameaçada pela redução da população de berbigão, expansão urbana e projetos de infraestrutura na região. O mesmo ocorre com o manguezal do Ratoles, protegido pela ESEC Carijós, que sofre com a interferência antrópica da pesca, modificações nos cursos d'água, avanço da urbanização e com o despejo de efluentes tratados (da ETE Canasvieiras) e não tratados no rio Papaquara e Ratoles. Para Ferreira e Lacerda (2016), cerca de 70% dos manguezais brasileiros estão dentro de áreas de preservação, mas a eficiência dos avanços de preservação é prejudicada pela burocracia, falta de políticas de conservação e de interesses econômicos.

Apesar de serem áreas protegidas pela legislação ambiental brasileira (pelo Código Florestal, na lei nº 12.651/2012) e pelo Plano Diretor do Município, este estudo demonstrou que essas áreas continuam sofrendo reduções e impactos. O manguezal do Ratoles, em 1938, ocupava uma área de 13,7 km² (CARVALHO; ZAGAGLIA; FERREIRA, 2007), mas, em 2016, nesta pesquisa, exibiu apenas 5,9 km², ou seja, em 78 anos, a redução desse manguezal foi de 57%. O manguezal é protegido por lei (Código Florestal), mas seu uso é permitido em caso de interesse social, como as infraestruturas indicadas anteriormente (rodovias, ETE, dentre outros), afetando os bens e serviços que esses ambientes proporcionam para a sociedade. As observações do presente estudo reforçam que a análise da paisagem é relevante para compreensão da organização do espaço geográfico, para caracterizar e diagnosticar os processos da dinâmica natural costeira e avaliar os impactos ambientais das unidades paisagísticas costeiras (MACIEL; LIMA, 2011).

O pior estado do PAR encontrado na BH do rio Ratoles foi encontrado em um afluente (P6), na Figura 3, localizado no bairro de mesmo nome. Esse local não possuía vegetação ciliar, a urbanização era intensa nas margens do curso d'água, além de apresentar despejo d'água pluvial com aspecto de ligação clandestina de esgoto doméstico e presença de resíduos sólidos. A presença de resíduos

sólidos em todos os cursos d'água apresentou densidade de embalagens plásticas e material de construção, seguindo o observado em outros manguezais do Brasil (BELARMINO *et al.*, 2014). Ademais, a urbanização sem o saneamento de qualidade gera o despejo de efluentes e resíduos sólidos, afetando a qualidade ambiental dos ecossistemas, como os manguezais. Essa situação de degradação ambiental dos manguezais foi encontrada por Sobrinho e Andrade (2009) no Manguezal do Pina, em Recife - PE, que exibiu deterioração pela falta de coleta e tratamento de esgoto e pela ocupação antrópica.

Figura 3 - Pontos amostrais da aplicação do PAR e percentual de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica por ponto amostral



Fonte: Autores (2020).

O PAR aplicado na BH do Rio Itacorubi classificou três trechos como impactados, variando de 12 (o pior estado no ponto P5) a 67, com a melhor condição no P7, na Figura 3. Nessa bacia, os pontos 3, 5 e 6 apresentaram a pior classificação, dada por: odor intenso; tonalidade cinza opaca da água, com característica de despejo de esgoto doméstico sem tratamento; modificação das margens, pela insignificância ou ausência da vegetação ciliar; presença de resíduos sólidos; entre outros fatores. O P2 (PAR = 25), localizado nas proximidades de um *shopping center* e de áreas comerciais, está dentro do Parque do Itacorubi, onde se verificou a presença de perturbação ambiental. A área de abrangência desse ponto representou 46% (1,5 km²) da mancha urbana. Por outro lado, a fauna aquática mostrou-se resiliente, visto que, no local, foram visualizados cerca de dez jacarés da espécie papo-amarelo (*Caiman latirostris*) e algumas garças-brancas (*Ardea alba*) no leito do rio.

Ainda em relação aos impactos antropogênicos ocorridos nas bacias hidrográficas, por meio do PAR se identificou ligação clandestina de esgoto, mudança de cor e odor da água, presença de macrófitas (indicadoras de eutrofização) no espelho d'água, desmatamento e edificações das margens. Os impactos sobre as águas da BH do Rio Ratonos foram destacados por Corseuil *et al.* (2009), Victorette e Brentano (2011), Silva (2015) e Rodrigues (2016a) pelas altas concentrações de

coliformes termotolerantes, DBO₅ e nutrientes (N e P) na água superficial. Na BH do Rio Itacorubi, a mais impactada conforme o PAR, foram encontradas péssimas condições ambientais, corroboradas por Froehner *et al.* (2011), que detectaram elevada concentração de hormônio feminino (estrogênios) em locais de descarga irregular ou ilegal de efluentes. Entre esses fármacos, o 17- α -etinilestradiol (129,75 \pm 3,89 ng. g⁻¹) foi encontrado com a maior concentração no sedimento no estuário do Itacorubi (FROEHNER *et al.*, 2011). O que reforça a conclusão de Piazza (2012), de que nessa bacia a fauna aquática está exposta às substâncias desreguladoras endócrinas.

Em outra pesquisa realizada no manguezal do Itacorubi, Masutti (1999) indicou contaminação por cádmio e cobre, metais pesados acumulados nos tecidos de espécies como capim-marinho (*S. alterniflora*), mexilhão (*M. guyanensis*), molusco (*C. granulata*) e nos sedimentos e na água intersticial do rio. As pesquisas mostram que há décadas que o principal interferente na qualidade ambiental do manguezal do Rio Itacorubi é o despejo de efluentes domésticos sem tratamento, vindos da urbanização, mas nenhuma solução foi dada pela gestão pública até o momento.

Em consequência da modificação antrópica nas BHs dos Rios Ratonos e Itacorubi foi verificada a alteração da morfologia do rio, como a retificação dos cursos d'água, ao aplicar o PAR. Tais alterações consistem na redução da sinuosidade, provocando a perda das características naturais e a modificação das seções transversais e do perfil longitudinal dos cursos d'água (VIEIRA; CUNHA, 2006). A retificação do rio contribui para a potencialização da eutrofização dos corpos de água receptores, como a Baía Norte onde deságuam os rios Itacorubi e Ratonos, pois diminui o tempo de residência da água no rio e em toda a sua estrutura que funciona como o biofiltro natural, como as matas ciliares, áreas úmidas e manguezal (FONSECA; NEWTON; CABRAL, 2021). Além disso, pode aumentar a erosão, os picos de inundação, os processos bioquímicos, a transferência de nutrientes para jusante, a interação das partículas dissolvidas e as trocas bentônicas (STATHAM, 2012; KIEDRZYNSKA; KIEDRZYNSKI; ZALEWSKI, 2015).

Além de afetar a qualidade da água, a urbanização também afeta o balanço hídrico local (FLOTEMERSCH *et al.*, 2016) e a impermeabilidade do solo (CALIFORNIA WALUP, 2018). No caso da BH do Rio Itacorubi (com mais de 40% de mancha urbana), a infiltração deve ser menor que nas bacias dos rios Ratonos e Tavares. A mudança do balanço hídrico ainda afeta negativamente a qualidade das águas superficiais e reduz a contribuição de água para o lençol freático, zonas úmidas, vegetação ribeirinha, poços, entre outros (CALIFORNIA WALUP, 2018).

Sobre o aquífero dessas bacias hidrográficas, conforme dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), as BHs dos Rios Ratonos e Tavares apresentam aquífero livre, com porosidade intermediária e vazão entre 20 e 90 m³/h, nesta ordem. Esses aquíferos ocupam área de 51 km² (59%) e 17 km² (39%), respectivamente, nas bacias hidrográficas. Já a BH do Rio Itacorubi tem 59% (17 km²) da sua área formada por embasamento cristalino, aquífero livre e semiconfinado, com vazão entre 2 e 9 m³/h. Conforme a CPRM (2017), esses aquíferos são considerados altamente vulneráveis à contaminação por efluentes domésticos.

Correlação entre uso da terra e análise da qualidade ambiental

A porcentagem de mancha urbana demonstrou correlação negativa com o valor do PAR gerado nas bacias hidrográficas (Tabela 2), principalmente na BH do Tavares (r: -0,79), na Tabela 3. O aumento da mancha urbana nas áreas analisadas é um dos fatores que mais comprometeu a qualidade ambiental das bacias hidrográficas, como destacados por Tu (2011) e Huang *et al.* (2015), isto é, o aumento da mancha urbana, associado à falta de saneamento adequado, impacta as bacias hidrográficas urbanas.

O percentual de área de manguezal foi fraco e positivo em relação à qualidade ambiental em todas as bacias hidrográficas, variando entre $r: 0,35$ (BH do Tavares) e $r: 0,57$ (BH do Itacorubi), na tabela 3. Com demonstrado nesta pesquisa, as áreas de manguezal nas bacias hidrográficas perdem suas áreas para as manchas urbanas. Esse aspecto foi encontrado por Laurentino e Souza (2013), no Manguezal do Rio Apodi – RN, que nas cidades, os espaços livres, incluindo áreas estuarinas, tendem a diminuir, sendo substituídas por pela mancha urbana.

Tabela 3 - Correlações de Pearson entre a qualidade ambiental pela aplicação do PAR e percentual de uso e ocupação do solo na área de abrangência do ponto amostral

ESTUÁRIO	Manguezal	Zona úmida	Cobertura Florestal	Mancha urbana
RATONES	0,53	0,57	-	-
ITACORUBI	0,57	-	-	-0,37
TAVARES	0,35	-	0,35	-0,79*

* correlação significativa com $p < 0,05$

Fonte: Autores (2020).

Na pesquisa de Silva *et al.* (2016) encontraram correlação ($r: -0,50$; $p: 0,001$) entre o PAR e o índice de estado trófico (TRIX) no rio Papaquara. Neste estudo, o PAR demonstrou que a BH do Rio Itacorubi, a mais urbanizada, apresentou a pior qualidade ambiental (com três pontos amostrais impactados e dois alterados). Já a BH do Rio Ratones apresentou um ponto impactado e três alterados. Isso reforça a potencialidade do PAR, método apresentado neste estudo, como ferramenta auxiliar na compreensão da qualidade ambiental dos corpos hídricos costeiros, de forma simplificada e de baixo custo para a gestão de bacias hidrográficas costeiras.

Considerações finais

Este estudo demonstrou que o aumento da mancha urbana na última década, associada à falta de saneamento adequado e à supressão dos manguezais e das áreas úmidas, foi o principal responsável pela alteração da paisagem e da qualidade da água das bacias hidrográficas aqui analisadas. Esses fatores foram identificados pelo PAR e corroborados com a análise da paisagem por imagens de satélite. O PAR ainda demonstrou que a BH do Rio Itacorubi, a mais urbanizada, apresentou a pior qualidade ambiental (com três pontos amostrais impactados e dois alterados). Por outro lado, a BH do Rio Ratones apresentou um ponto impactado e três alterados. O PAR, método apresentado neste estudo, mostrou-se uma ferramenta auxiliar na compreensão da qualidade ambiental dos corpos hídricos costeiros, de forma simplificada e de baixo custo para a gestão de bacias hidrográficas costeiras.

A análise da paisagem permitiu compreender a atual configuração do uso e da ocupação do solo nas bacias e sua relação com a qualidade ambiental, fator que servirá para compreender a tendência futura desta qualidade ambiental frente às modificações propostas pelo poder público, como o Plano Diretor do município de Florianópolis.

Agradecimentos

À Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e à CAPES pelo fomento à bolsa de doutorado. À Estação Ecológica de Carijós (ESEC Carijós) e à Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) de Florianópolis pela disponibilidade dos dados e pela logística em campo.

Referências

- ALONGI, D. M. (2018) Impact of global change on nutrient dynamics in mangrove forests. *Forests*, v. 596, n. 9, p. 1-13.
- BEIROZ, H. (2015) Zonas de amortecimento de Unidades de Conservação em ambientes urbanos sob a ótica territorial: reflexões, demandas e desafios. *Desenvolv. Meio Ambiente*, v. 35, p. 275-286.
- BELARMINO, P. H. P.; SILVA, S. M. da; RUFENER, M.-C.; ARAÚJO, M. C. B. de. (2014) Resíduos sólidos em manguezal no rio Potengi (Natal, RN, Brasil): relação com a localização e usos. *Gestão Costeira Integrada*, v.14, n. 3, p. 447- 457.
- BERNARDY, R. J. (2000) *Uso de sensoriamento remoto para análise ambiental do Parque Manguezal do Itacorubi, Florianópolis – SC*. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 131p.
- BESSE, J. M. (2014). *O gosto do mundo: exercícios de paisagem*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 234 p. (Clássicos da Ciência).
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. *Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza; Lei do SNUC*. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2000/lei-9985-18-julho-2000-359708-norma-pl.html>. Acesso em: 16 jan. 2019.
- BRINSON, M.; RHEINHARDT, R.; FERRELL, R.; DUNCAN, B.; HOBBS, L.; MCNAUGHT, D.; PHELAN, J.; RADER, D. (2013) A rapid watershed assessment approach for assessing the condition of small, coastal watersheds: Protocol and case study. *Ocean & Coastal Management*, v. 71, p. 238 - 255.
- CALIFORNIA WALUP. *How Urbanization Affects the Water Cycle*. Disponível em: <https://www.coastal.ca.gov/nps/watercyclefacts.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2018.
- CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO P.; GOULART M.; PETRUCIO M. (2002) Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividade de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 14, n. 1, p. 91-98.
- CARNEIRO, A. P.; SOARES, C. H. L.; MANSO, P. R. J.; PAGLIOSA, P. R. (2020) Impacto marine heat waves and cold spell events on the bivalve *Anomalocardia flexuosa*: A seasonal comparison. *Marine Environmental Research*, v. 156, p. 1-11.
- CARVALHO, E. V.T.; ZAGAGLIA, C. R.; FERREIRA, E. (2007) Avaliação de áreas de mangues e apicuns, nos anos de 1938 e 2004, localizadas na Ilha de Santa Catarina. *Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, INPE. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.20.10/doc/3805-3811.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2017.
- CONGEDO, L. (2017) *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. Release 5.3.2.1. Disponível em: <https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-v4/latest/semiautomaticclassificationmanual-v4.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2017.
- CORSEUIL, C. W.; LIBOS, N. C.; FUZINATTO, C. F.; P., C. R. da S. de C. (2009) Distribuição espacial do índice de qualidade da água e a relação com o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Ratoles. *Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, p. 3673-3680. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.17.11.21/doc/3673-3680.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2017.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (2019) *Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas*. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- EC. Conselho Europeu. *Convenção sobre a paisagem europeia*. 2000. Disponível em: <http://www.coe.int/en/web/conventions/full-list/-/conventions/treaty/176>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- DIEDERICHSEN, S. D. (2014) *Percepção dos atores sociais frente aos problemas socioambientais da bacia hidrográfica do Rio Tavares como subsídio à estratégia de gestão costeira integrada*. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. 151p.
- EIA. *Estudo de Impacto Ambiental. Pedrita - Planejamento e Construção LTDA*. (2015) Projeto de expansão da área de lavra DNPM 815.643/1988 e 815.641/2004. Vol. I.. Disponível em: http://200.19.215.157/RIMA/PEDRITA_EIA.pdf. Acesso em: 19 nov. 2018.

- FELLER, I. C.; FRIESS, D. A.; KRAUSS, K. W.; LEWIS, R. R. (2017) The state of the world's mangroves in the 21st century under climate change. *Hydrobiologia*, v. 803, p. 1-12.
- FERREIRA, A. C.; LACERDA, L. D. (2016) Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean & Coastal Management*, v. 125, p. 38-46.
- FERRETTI, O. E. (2013) *Os espaços de natureza protegida na Ilha de Santa Catarina, Brasil*. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina. 349p.
- FLORENZANO, T. G. (2008) Sensoriamento remoto para geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos. 320p.
- FLOTEMERSCH, J. E.; LEIBOWITZ, S. G.; HILL, R. A.; STODDARD, J. L.; THOMS, M. C.; THARME, R. E. (2016) A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *River Res. Applic.*, v. 32, p. 1654–1671.
- FONSECA, A. L.; NEWTON, A.; CABRAL, A. (2021) Local and meso-scale pressures in the eutrophication process of a coastal subtropical system: challenges for effective management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 250, p. 1- 13.
- FROEHNER, S.; MACHADO, K. S.; STEFEN, E.; NOLASCO, M. (2011) Occurrence of sexual hormones in sediments of mangrove in Brazil. *Water Air Soil Pollut.*, v. 219, p. 591–599.
- GERGEL, S. E.; TURNER, M. G.; MILLER, J. R.; MELACK, J. M.; STANLEY, E. H. (2002) Landscape indicators of human impacts to riverine systems. *Aquat. Sci.*, v. 64, p. 118–128.
- HADDAD, E. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. (2010) Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais. *Geosul*, v. 25, n. 49, p. 79-102.
- HANNAFORD, M. J.; BARBOUR, M. T.; RESH, V. H. (1997) Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. *Journal North American Benthol. Soc.*, v. 16, n. 4, p. 853-860.
- HUANG, J.; HUANG, Y.; PONTIUS JR, R. G.; ZHANG, Z. (2015) Geographically weighted regression to measure spatial variations in correlations between water pollution versus land use in a coastal watershed. *Ocean & Coastal Management*, v. 103, p. 14–24.
- KANDZIORA, M.; BURKHARD, B.; MÜLLER, F. (2013) Interactions of ecosystem properties, ecosystem integrity and ecosystem service indicators—A theoretical matrix exercise. *Ecological Indicators*, v. 28, p. 54–78.
- KASSAMBARA, A. (2020) *ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots*, versão 0.4. 2020. Home page: <https://cran.r-project.org/web/packages/ggpubr/index.html>. Acesso: 15 jan. 2020.
- KIEDRZYNSKA, E.; KIEDRZYNSKI, M.; ZALEWSKI, M. (2015) Sustainable floodplain management for flood prevention and water quality improvement. *Nat. Hazards*, v. 76, p. 955-977.
- LAURENTINO, I. C.; SOUZA, S. C. de. (2013) Uma análise do plano de recuperação de área degradada com vegetação de mangue no Rio Apodi Mossoró do Projeto Margem Viva. *Holos*, v. 3, n. 29, p. 161-170.
- LEITE, E. F.; ROSA, R. (2012) Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins. *OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia*, v.4, n.12, p. 90-106.
- LI, Y.; LI, Y.; QURESHI, S.; KAPPAS, M.; HUBACEK, K. (2015) On the relationship between landscape ecological patterns and water quality across gradient zones of rapid urbanization in coastal China. *Ecological Modelling*, v. 318, p. 100–108.
- LI, W.; WANG, Z.; TANG, H. (2009) Designing the buffer zone of a nature reserve: a case study in Yancheng Biosphere Reserve, China. *Biological Conservation*, v.90, n.6, p.159-165.
- MACIEL, A. B. C.; LIMA, Z. M. C. (2011) O conceito de paisagem: diversidade de olhares. *Sociedade e Território*, v. 23, nº 2, p. 159 - 177.
- MASUTTI, M. B.; PANITZ, C. M. N. (1999) *O manguezal do Itacorubi como barreira biogeoquímica: Estudo de caso*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação de Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. 196p.
- NUCCI, J. C.; VALASKI, S.; ESTÉVEZ, L. F. (2019) Uso da terra e qualidade ambiental urbana: uma proposta de legenda para mapeamento. *GEOgraphia*, v. 21, n.46, p. 73 – 90.

- PEREIRA, L. F.; GUIMARÃES, R. M. F. (2019) Mapeando usos/coberturas da terra com Semi-automatic Classification Plugin: quais dados, classificador e estratégia amostral? *Nativa*, v. 7, n. 1, p. 70-76.
- PEZZUTO, P. R.; SOUZA, D. S. E. (2015) A pesca e o manejo do berbigão (*Anomalocardia brasiliensis*) (Bivalvia: Veneridae) na Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé, SC, Brasil. *Desenvolv. Meio Ambiente*, v. 34, p. 169-189.
- PIAZZA, C. E. (2012) *Identificação e análise da transcrição gênica diferencial em peixes Poecilia vivipara Bloch & Scheider, 1801, expostos ao esgoto sanitário*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Biociências. Universidade Federal de Santa Catarina. 91p.
- PIMENTA, M. de C. (2013) O plano diretor e a construção do espaço social em Florianópolis (SC). In: PERES, A. B. et al. *Reconstruindo paisagens: desafios socioespaciais para a Grande Florianópolis*. Florianópolis: Editora da UFSC. 406 p.
- PLAFKIN, J. L.; BARBOUR, M. T.; PORTER, K. D.; GROSS, S. K.; HUGHES, R. M. (1989). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish*. EPA: Assessment and Watershed Protection Division. 337 p.
- QUANTUM GIS TEAM. *Home page*. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/>. Acesso em: 19 jul. 2018.
- R Core Team. *R: a language and environment for statistical computing*. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 jul. 2021.
- RAMSAR. (1971). Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat. *The Convention on Wetlands text*. Ramsar, Iran. 06p.
- RIGOTTI, J. A. (2015) *Funcionalidade ecológica em cursos d'água: implicações para a requalificação da paisagem fluvial*. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. 144p.
- RODRIGUES, A. S. de L.; CASTRO, P. de T. A. (2008) Protocolos de Avaliação Rápida: instrumentos complementares no monitoramento dos recursos hídricos. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n. 1, p. 161-170.
- RODRIGUES, C. J. (2016a) *Águas de Carijós: passado, presente, futuro e seus impactos*. Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado Profissional em Perícias Criminais Ambientais. Universidade Federal de Santa Catarina. 153 p.
- RUDORFF, C. M.; NOVO, E. M. L. M.; GALVÃO, L. S.; PEREIRA FILHO, W. (2007) Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 37, n. 2, p. 269-280.
- SCHETTINI, C. A. F.; PEREIRA F. J.; L. SPILLERE. (2000) *Caracterização oceanográfica e biogeoquímica dos estuários dos rios Tavares e Defuntos, Reserva Extrativista de Pirajubaé, Florianópolis, SC*. Notas Téc. Facimar, 4, 11-28.
- SCHUELER, T. R.; FRALEY-MCNEAL, L.; CAPPIELLA, K. (2009) Is impervious cover still important? Review of recent research. *J. Hydrol. Eng.*, v. 14, p. 309-315.
- SILVA, A. R. da. (2019) *Avaliação do processo de eutrofização das águas superficiais, do cenário nacional ao local: estudo de caso nas bacias hidrográficas costeiras dos rios Ratonés, Itacorubi e Tavares (Ilha de Santa Catarina, Brasil)*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. 309p.
- SILVA, A. R. da; FONSECA, A. L. D' O.; RODRIGUES, C. J.; BELTRAME, Â. da V. (2016) Aplicação de indicadores ecológicos em bacia costeira sob elevada pressão da atividade de veraneio. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 3, p. 537-548.
- SILVA, A. R. da. (2015) *Avaliação da qualidade ambiental e do processo de eutrofização na bacia hidrográfica do Papaquara, Ilha de Santa Catarina, SC*. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. 123p.
- SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C.; SIRTOLI, A. E.; SILVA, C. R.; BOTELHO, M. F. (2013) Soil prediction using artificial neural network and topographic attributes. *Geoderma*, v.195–196, p.165–172.
- SOARES, G. S.; DOMINGUEZ, J. M. L. (2012) Zonas úmidas na planície costeira do rio Itapicuru, litoral norte do estado da Bahia, Brasil: classificação e controles ambientais. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 12, n. 2, p. 223-237.

- SOBRINHO, M. A. M; ANDRADE, A. C. (2009) O desafio da conservação de manguezais em áreas urbanas: identificação e análise de conflitos socioambientais no Manguezal do Pina - Recife - PE – Brasil. *Unimontes Científica*, v. 11, n. (1/2), p. 8-16.
- SOUZA, R. J. de. (2018) *Paisagem e sionatureza: olhares geográfico-filosóficos*. Chapecó: Ed. UFFS. 133 p.
- SPÍNOLA, J. L.; TEIXEIRA, C. F.; ANDRIGUETTO FILHO, J. M. (2014) Desafios à cogestão: os impactos da Via Expressa Sul sobre o extrativismo na RESEX Marinha do Pirajubaé. *Desenvolv. Meio Ambiente*, v. 32, p. 139-150.
- STATHAM, P. J. (2012) Nutrients in estuaries - an overview and the potential impacts of climate change. *Science of the Total Environment*, v. 434, p. 213–227.
- TU, J. (2011) Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression. *Applied Geography*, v. 31, p. 376-392.
- TUCCI, E. M.; CLARKE, R. T. (1997) Impacto das mudanças da cobertura no escoamento: revisão. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n. 1, p. 135-152.
- TUFFORD, D. L.; SAMARGHITAN, C. L.; MCKELLAR JR., H. N.; PORTER, D. E.; HUSSEY, J. R. (2003) Impacts of urbanization on nutrient concentrations in small southeastern coastal streams. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 39, n. 2, p. 301-312.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (201) Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotrop.*, v. 10, n. 4, p. 67-75.
- VICTORETTE, T. W. D. B.; BRENTANO, D. M. (2011) *Qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Ratoles, Florianópolis/SC, nas estações de primavera e verão*. Caderno de Publicações IFSC. Disponível em: <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/publicacoes/article/viewFile/91/55>. Acesso em: 15 dez. 2017.
- VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. (2006). Mudanças na rede de drenagem urbana de Teresópolis-RJ. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs). *Impactos ambientais urbanos no Brasil*. 4 ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil. 420p.
- WRIGHT, K. (2018) *Corrgram*: plot a correlogram, versão 1.13. Home page: <https://cran.r-project.org/web/packages/corrgram/index.html>. Acesso: 15 jan. 2020.