



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Avaliação da influência do uso e cobertura da terra na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho (SP)

Bruno Magro Rodrigues¹, Lucas Prado Osco², Patricia Alexandra Antunes³, Ana Paula Marques Ramos⁴

¹Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade do Oeste Paulista, Rodovia Raposo Tavares Km 572, CEP 19067-175, Presidente Prudente, São Paulo. (18) 32292132. magro@hotmail.com ²Doutorando em Agronomia, Universidade do Oeste Paulista, Rodovia Raposo Tavares Km 572, CEP 19067-175, Presidente Prudente, São Paulo. (18) 32292132. pradoosco@gmail.com ³Dra. em Ciências (Química Analítica), Professora da Faculdade de Artes, Ciências e Letras de Presidente Prudente, Universidade do Oeste Paulista, Rodovia Raposo Tavares Km 572, CEP 19067-175, Presidente Prudente, São Paulo. (18) 32292030. antunes@unoeste.br. ⁴Dra em Ciências Cartográficas, Professora permanente do Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade do Oeste Paulista, Rodovia Raposo Tavares Km 572, CEP 19067-175, Presidente Prudente, São Paulo. (18) 32292132. anaramos@unoeste.br (autor correspondente).

Artigo recebido em 11/07/2018 e aceito em 06/12/2018

RESUMO

A ocupação extensiva e, por vezes, indevida do solo pode resultar em uma série de problemas ambientais que aceleram a degradação de uma bacia hidrográfica, com consequências diretas na qualidade dos seus recursos hídricos. Esse trabalho avalia o impacto do uso e cobertura da terra em parâmetros quantitativos e de qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho. A produção cartográfica consistiu de mapa de uso e cobertura da terra, declividade, rede de drenagem, mapa de área de preservação permanente e mapa de Índice de Qualidade da Água (IQA). Tanto a coleta quanto as análises das águas superficiais da bacia foram desenvolvidas seguindo os procedimentos do *Standard Methods*. Os resultados das análises foram comparados com os valores de referência CONAMA, n° 357/05, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011, sendo os padrões estabelecidos para rios de classe 2, mesma classe que se enquadra os corpos hídricos inseridos na bacia em estudo. Conclui-se que há um desequilíbrio ambiental na bacia do rio Pirapozinho. O mapa de uso e cobertura aponta que aproximadamente 90% da área da bacia encontra-se ocupada por pastagem e culturas. Outro aspecto é que mais de 84% da área de preservação permanente encontra-se desprovida de vegetação arbórea. Embora o mapa do IQA revele que a água da bacia possa ser classificada como boa (IQA entre 52 e 79) predominantemente, as análises laboratoriais apontam que há pontos na área com contaminação. Isto pode ser atribuído a atividades industriais e agropastoris desenvolvidas na bacia em estudo. Recomenda-se ações de manejo sustentável na bacia do rio Pirapozinho para a recuperação dos seus recursos naturais.

Palavras-chave: Produção cartográfica, qualidade da água, análise ambiental, bacia hidrográfica.

Evaluation of the effects of land use and occupation on superficial water quality of the hydrographic basin of the Pirapozinho river (SP)

ABSTRACT

Extensive and unduly occupation of soil may result in several environmental problems those contribute to accelerate the degradation of a hydrographic basin bringing directly consequences to quality of its water resources. This paper evaluates the impact of land use and occupation on quantitative parameters and of superficial waters quality of the hydrographic basin of the Pirapozinho river. The cartographic products designed consisted of land use and occupation map, declivity map, drainage network map, permanent preservation area map and map of Water Quality Index (WQI) of hydrographic basin. Both collection and analysis of the superficial waters samples were developed following the Standard Method procedure. The results of the laboratorial analyses were compared with the reference values at CONAMA 357/05 and 430/11 resolutions. We conclude that there is an environmental disequilibrium at the hydrographic basin of the Pirapozinho river. The land use and occupation map shows that approximately 90% of the area of the basin is occupied by pasture and crop fields. Other finding is that there is no arboreal vegetation in 84% of the permanent preservation area of the hydrographic basin. Although the WQI map reveals that water of the basin can be classified as good (WQI among 52 and 79) predominately, the laboratorial analyses point out that there is some points in area with contamination of water.

This may be related to the industrial and agricultural activities performed in the area. We recommend sustainable management actions in the Pirapozinho river basin to recovery of its natural resources.

Keywords: Cartographic production; water quality; environmental analysis; hydrographic basin.

Introdução

O meio ambiente e seus recursos naturais estão em mudança contínua devido a evolução natural e (ou) as atividades antrópicas. Para que se percebam essas mudanças é necessário se atentar para a forma de uso da terra, com o intuito de identificar, monitorar e eliminar ou minimizar os fenômenos que desencadeiam os processos naturais e antrópicos.

A ocupação extensiva do solo pode resultar em uma série de problemas relacionados à degradação de uma bacia hidrográfica, com consequências diretas na qualidade dos recursos hídricos. Um exemplo típico de degradação ambiental em bacia hidrográfica é a ausência de vegetação nas áreas denominadas de APP (Áreas de Preservação Permanente). Segundo a Lei Federal nº 12.651/2012 (Brasil, 2012), as faixas marginais de cursos d'água natural perene e intermitente, desde a borda da calha do leito regular, são APP. Tais áreas devem conter uma largura mínima de faixa de vegetação, sendo essa largura determinada em função da largura do corpo d'água.

Para a minimização de impactos negativos gerados pela ação antrópica, e para o desenvolvimento de medidas que evitem novas situações de degradação ambiental, os estudos de manejo de bacias hidrográficas são recorrentes na literatura (Sardinha *et al.*, 2008; Souza & Gastaldini, 2014; Mostafaei, 2014; Lobato *et al.*, 2015; Ion *et al.*, 2016; Maranhão *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2017; Abreu & Cunha, 2017; Mmorim *et al.*, 2017; Sener, *et al.*, 2017). Particularmente na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, área de interesse do presente trabalho, estudos dessa natureza foram desenvolvidos por Silva *et al.* 2016, Dibieso & Leal 2008, Santos & Piroli 2012, Soares & Leal 2011, Garcia & Leal 2012 e Braido & Tommaselli 2012.

Silva *et al.*, 2017, relatam que as medidas de proteção da vegetação e de otimização do uso e ocupação da área têm reflexos na conservação dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, tanto de modo qualitativo quanto quantitativo (Silva *et al.*, 2017). Nessa perspectiva, a análise de uso e cobertura da terra é fundamental, pois fomenta a tarefa de diagnóstico ambiental na área. As geotecnologias são essenciais nesse processo por

otimizar a produção de informações necessárias no estudo da dinâmica de uso de uma área. A EMBRAPA 2014, define geotecnologias como um conjunto de *hardware* (ex.: satélites, sistemas GNSS, câmaras) e de *software* (ex.: de Sistema de Informação Geográficas - SIG, de Processamento Digital de Imagens - PDI), capaz de armazenar e processar dados geográficos e de produzir informações geoespaciais, as quais são aplicadas, por exemplo, na análise da conservação dos recursos naturais.

A confiabilidade e a rapidez no processo de aquisição e processamento de dados proporcionado pelas geotecnologias trazem, portanto, maior facilidade de se mapear o uso e a cobertura de grandes áreas em extensão territorial, como é caracterizada a região do Pontal do Paranapanema. Essa região possui uma área total de aproximadamente 11.500 km² e é formada por um conjunto de bacias hidrográficas de grandes ordens. Segundo Felício 2013, a região do Pontal possui um histórico de intensa ocupação territorial que, de uma forma geral, ocorreu sem o devido planejamento que, com efeito, reduziria os impactos oriundos de sua ocupação.

A bacia hidrográfica do rio Pirapozinho é uma importante bacia na região do Pontal do Paranapanema, visto que esse rio é um dos maiores do Pontal, fluindo por seis municípios diferentes. Associado a isto, há uma alta demanda pelos recursos hídricos das bacias do rio Santo Anastácio e rio do Peixe para o abastecimento público da cidade de Presidente Prudente – São Paulo, e isto remete a considerar outra bacia como fonte de captação de água para o abastecimento público dos núcleos populacionais do Pontal, sendo a bacia hidrográfica do rio Pirapozinho uma forte candidata na região.

A expressiva representatividade da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho na região aponta para a necessidade de estudos que caracterizem a forma de uso e ocupação dessa área, bem como à qualidade das águas superficiais desta bacia, seja visando a proteção ou mesmo a recuperação dos recursos hídricos do seu manancial. Todavia, não há evidências de nenhum estudo nesta temática para a bacia hidrográfica abordada. Diante disto, este trabalho avalia a influência do uso e cobertura da terra em parâmetros quantitativos e de qualidade

das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho (SP). A principal contribuição deste estudo está em disponibilizar resultados que fomentem futuras práticas de cunho ambiental para

Metodologia

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Pirapozinho possui uma área aproximada de 1.000 km² e está inserida na 22^a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema

serem implementadas nessa bacia hidrográfica visando a proteção e recuperação dos recursos naturais do seu manancial.

(UGRHI-22). Essa unidade de gerenciamento localiza-se no extremo oeste do estado de São Paulo, na área limítrofe com os Estados do Mato Grosso do Sul e Paraná, entre os rios Paraná e Paranapanema, conforme ilustrado na Figura 1. Além dos rios Paraná e Paranapanema, os rios Santo Anastácio e o Pirapozinho são os principais rios da UGRHI-22.

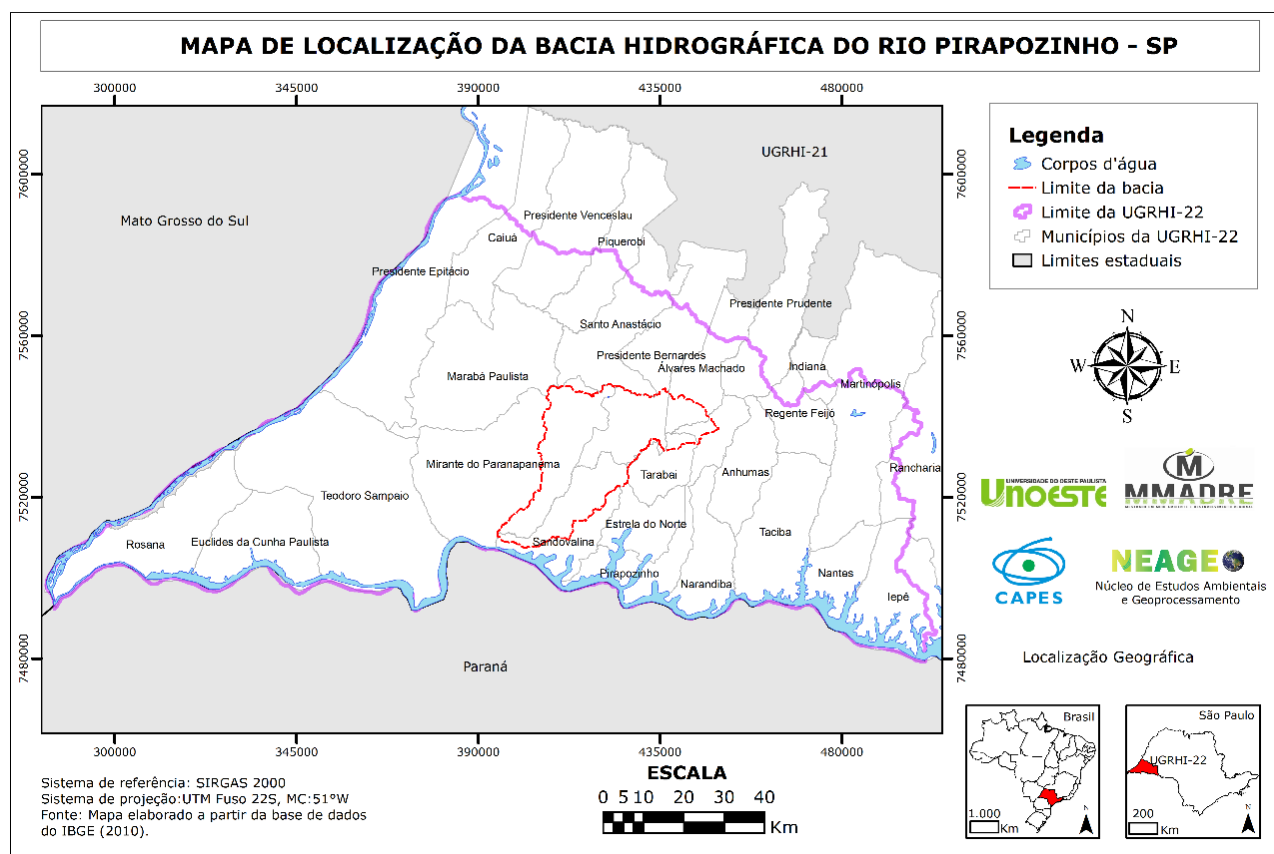


Figura 1. Localização da bacia do rio Pirapozinho na região do Pontal do Paranapanema SP.

Materiais e método

Para atingir o objetivo desse trabalho foi utilizada uma base de dados em formato vetorial (*shapefile*) disponibilizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em diferentes escalas de representação, como a base de municípios do Estado de São Paulo (escala 1:250.000) e a base de rede de hidrografia do estado (escala 1:50.000). Também foram utilizados dados em formato matricial (*raster*) disponíveis gratuitamente no USGS (*United States Geological Service*), como imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI, com 30 metros (m) de resolução

espacial, e um Modelo Digital de Superfície (MDS) do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 m. Para a realização das análises laboratoriais das amostras de água foram utilizados: pHmetro de bancada; espectrofotômetro Visível; condutivímetro; turbidímetro; kit e leitor de DBO *Oxitop*; destilador de nitrogênio, estufa; incubadora para DBO; Spectrofotômetro Spectroquant e; balança analítica.

Um total de seis produtos cartográficos foram elaborados para atingir ao objetivo dessa pesquisa: 1) mapa de drenagem, 2) mapa de relevo

sombreado, 3) mapa de declividade, 4) mapa de uso e cobertura da terra, 5) mapa de áreas de preservação permanente e 6) mapa de índice de qualidade da água. O *software* de SIG utilizado foi o ArcGIS 10.3. O Spring 5.3 foi usado na classificação da imagem de satélite e a geração do mapa de uso e cobertura da terra.

Com a finalidade de facilitar a análise da distribuição da drenagem na bacia do rio Pirapozinho, extraiu-se o sombreado do relevo do MDS do SRTM e sobrepos-se à drenagem. O mesmo MDS foi utilizado para se extrair a declividade da bacia. Neste caso, considerou-se quatro classes de declividade: até 5%, maior que 5%, até 12% e de 12% até 30%. Esses intervalos de classes são baseados em De Biasi (2011). O autor argumenta que há faixas de declividade que limitam o uso da terra, sendo que terrenos com declividade até 5% possui limite urbano-industrial, com 5% a 12% limita o emprego de mecanização na agricultura, e entre 12% e 30% define-se o limite para urbanização sem restrições de parcelamento de solo.

Para a produção do mapa de uso e cobertura da terra da bacia do rio Pirapozinho, foram utilizadas duas imagens multiespectrais Landsat 8, sensor OLI, para abranger toda a área de estudo. Uma cena é de 07 de abril de 2016 e a outra de 30 de abril de 2016. As cenas foram mosaicadas em uma composição colorida falsa cor considerando as bandas 4(B), 5(G) e 6(R). Para auxiliar no processo de classificação das imagens, elaborou-se uma chave de interpretação conforme o modelo encontrado em Francisco & Almeida 2012. Desta maneira, cinco classes temáticas foram identificadas na bacia do rio Pirapozinho, a saber: lagoa/represa, solo exposto, vegetação, cultura e pastagem.

No Spring 5.3, aplicou-se uma classificação supervisionada por pixel, sendo o algoritmo escolhido o de Máxima Verossimilhança. O treinamento desse algoritmo foi realizado considerando de quatro a cinco amostras para cada classe temática, com um mínimo 20 pixels em cada classe. O resultado da classificação foi avaliado pelo valor do índice Kappa e do índice global, ambos disponibilizados pelo do Spring.

Para delimitar as áreas de preservação permanente da bacia do rio Pirapozinho considerou-se a largura mínima de faixa de vegetação estabelecida segundo o Novo Código Florestal, Lei Federal lei 12.651/2012 (Brasil, 2012). As áreas de APP foram delimitadas

utilizando a ferramenta “faixa de distância” (*buffer*) do ArcGIS 10.3 aplicada na feição drenagem. No caso em estudo, aplicaram-se as faixas de 30 e 50 m de largura, pois a bacia contém rios de 10 a 50 m de largura.

O mapa de qualidade da água da bacia do rio Pirapozinho foi elaborado a partir dos resultados obtidos via análise laboratorial da qualidade das águas superficiais em 16 pontos distribuídos na bacia. A definição da localização desses pontos de coleta foi baseada no mapa de sub-bacias hidrográficas que compõe a bacia do rio Pirapozinho, segundo o IBGE (Figura 2). Visando obter um conjunto de amostras representativas da bacia como um todo, realizou-se a coleta de água em pontos o mais próximo possível da foz de cada uma das sub-bacias, e também em outros cinco pontos ao longo do curso do rio principal. Vale ressaltar que o ponto 7 foi descartado das análises devido à inacessibilidade ao local.

Para a coleta e as análises de água foram utilizados os procedimentos recomendados pelo *Standard Methods* (Rice, Baird & Eaton, 2017). Para cada ponto de coleta, utilizou-se dois frascos de vidro âmbar esterilizados de 1000 ml. Foram realizadas as análises de 11 parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pH, turbidez, condutividade, fósforo total, coliformes totais, *Escherichia Coli*, nitrogênio total, temperatura e oxigênio dissolvido. Os resultados foram comparados com os valores pré-estabelecidos pela resolução CONAMA, nº 357/05, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011 (BRASIL, 2011), sendo os padrões estabelecidos para rios de classe 2, mesma classe que se enquadra os corpos hídricos inseridos na bacia em estudo. A coleta das amostras ocorreu em três campanhas de campo distintas, nas datas de 11, 12 e 13 de janeiro de 2017.

Os parâmetros de caracterização do IQA - Índice de Qualidade das Águas da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e seus respectivos pesos encontram-se na Tabela 1. Nas análises laboratoriais, processou-se os dados em duplicata. Os resultados foram comparados com os intervalos das classes do IQA para, assim, definir a qualidade da água superficial da bacia em estudo. Na Tabela 2, tem-se os intervalos adotados para o IQA.

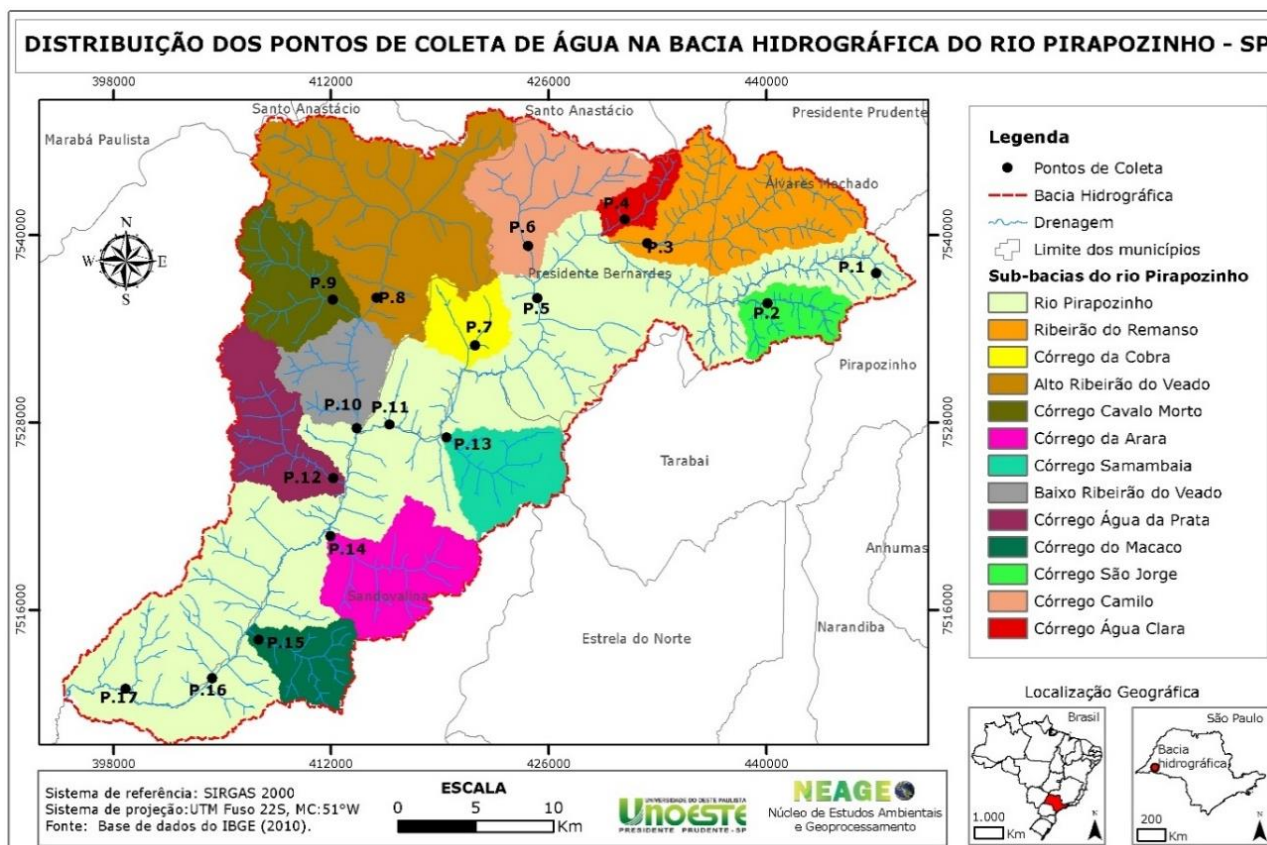


Figura 2. Mapa de distribuição dos pontos de coleta de água na bacia do rio Pirapozinho.

Tabela 1 - Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e seus respectivos pesos.

Parâmetros	Peso (w)
Oxigênio dissolvido	0,18
Coliformes termotolerantes	0,16
Potencial hidrogeniônico - pH	0,13
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	0,11
Temperatura da água	0,11
Nitrogênio total	0,11
Fósforo total	0,11
Turbidez	0,09

Fonte: Piratoba et al (2017).

Tabela 2 – Classificação da qualidade da água.

Intervalos das classes de IQA	Interpretação da qualidade da água
80-100	Ótima
52-79	Boa
37-51	Razoável
20-36	Ruim
0-19	Péssima

Fonte: Adaptado de Piratoba et al (2017).

Resultados e discussão

Uso e ocupação da bacia do rio Pirapozinho

A Figura 3 apresenta o mapa de sombreamento com a sobreposição da drenagem que constitui a bacia hidrográfica do rio Pirapozinho. Nota-se (Figura 3) que a bacia possui uma drenagem com padrões distintos ao se comparar as porções nordeste e central da área. A região nordeste da bacia apresenta maior ramificação da drenagem, de padrão dendrítico, enquanto na porção central identificam-se drenagens mais esparsas, características de um relevo menos dissecado.

Na Figura 4, tem-se a representação da declividade da bacia em estudo. O mapa revela que os maiores valores de declividade se encontram nas regiões das cabeceiras de drenagem localizadas na porção nordeste da área. Por outro lado, deve-se

ressaltar que há uma grande área da bacia com baixos valores de declividade (até 5%), como pode ser constatar na porção central e norte da área (Figura 4).

Também com base na Figura 4, é possível inferir que a bacia do rio Pirapozinho é uma área apta à atividades agrícolas que envolvem maquinário pesado, isto devido aos baixos índices de declividade da área. Torres *et al.*, 2010, argumentam que relevo com alta declividade pode potencializar o escoamento superficial e reduzir o armazenamento de água no solo, ocasionando enchentes mais pronunciadas e potencializando os processos erosivos. Além disso, Silva *et al.* 2016, apontam que, conforme se aumentam as declividades, aumenta-se também a suscetibilidade à erosão do ambiente, sendo necessário atenção para áreas com maior declividade e com baixa cobertura vegetal.

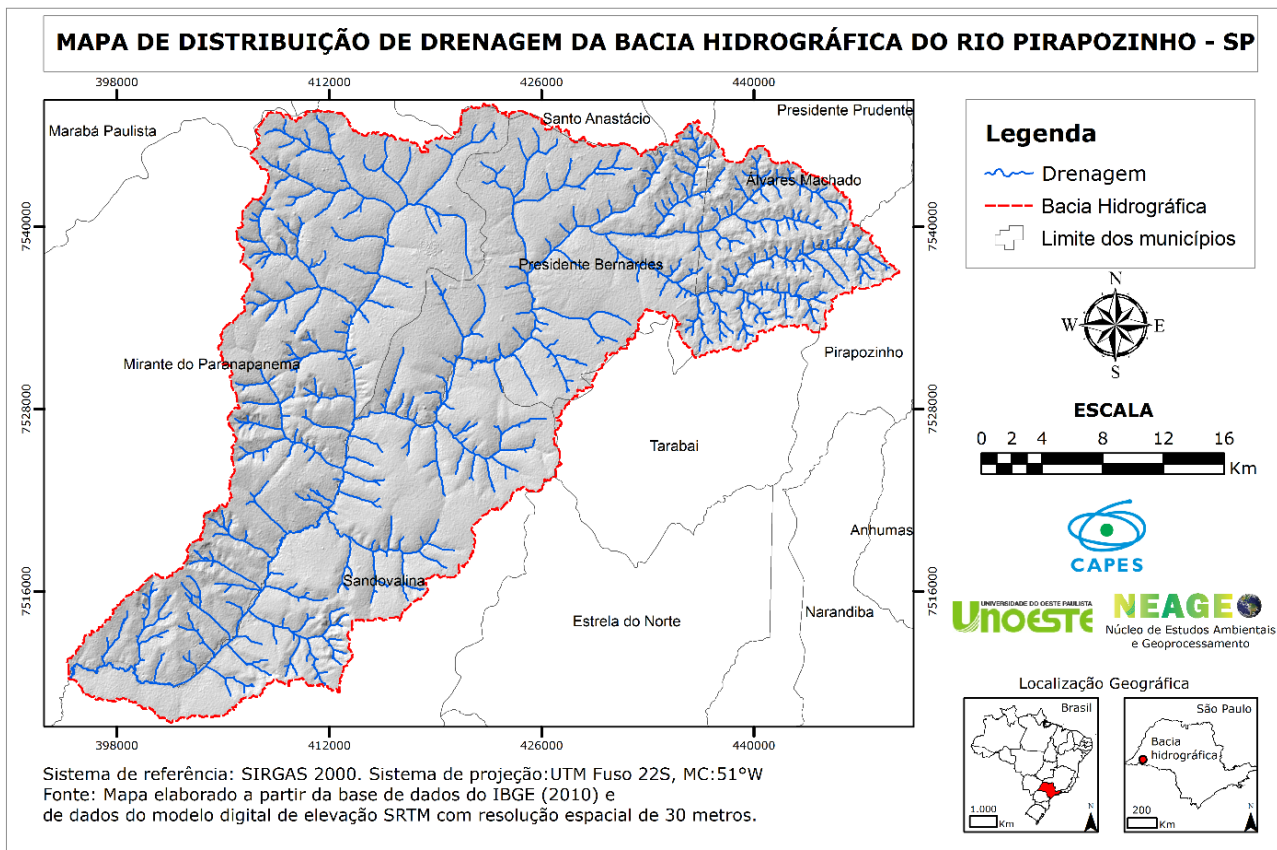


Figura 3. Mapa de distribuição de drenagem da bacia do rio Pirapozinho.

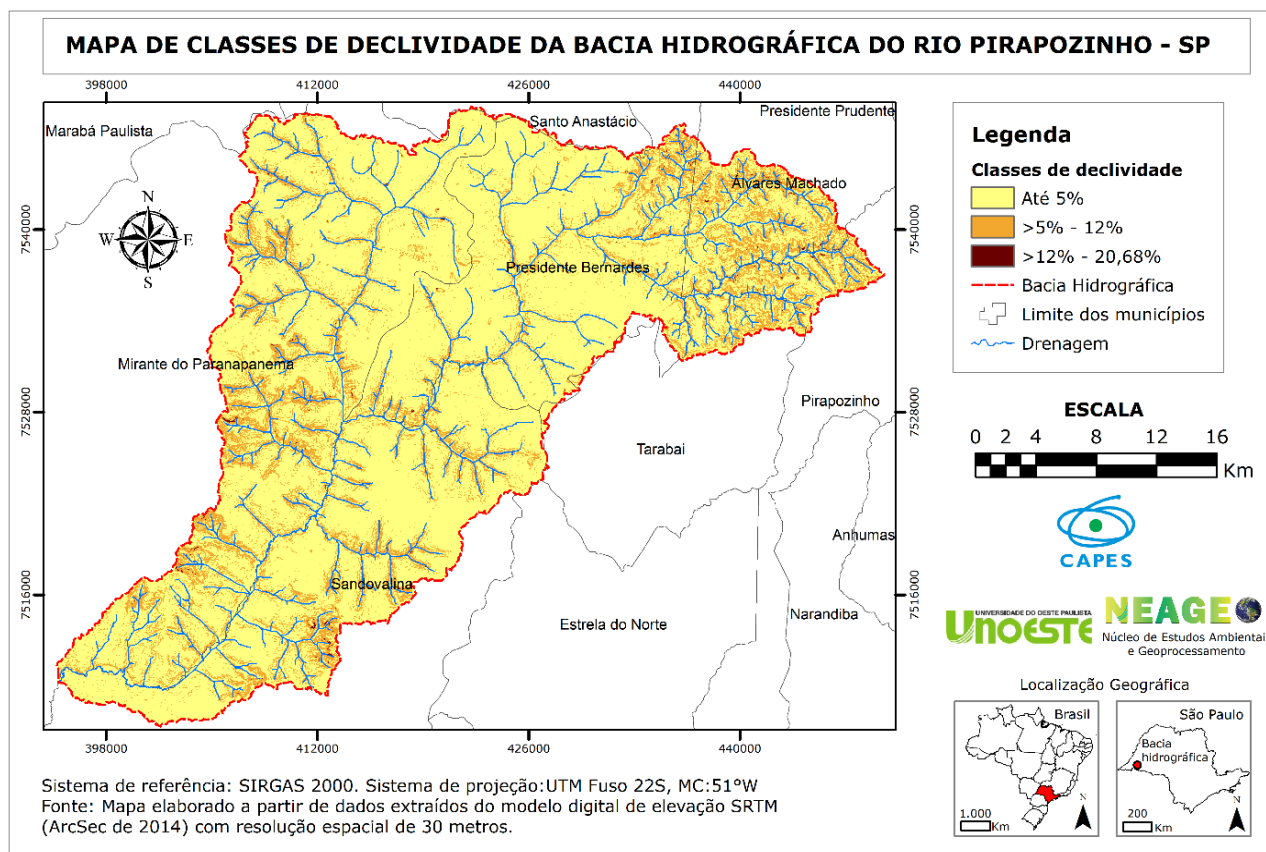


Figura 4. Mapa de classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho.

A Figura 5 apresenta o mapa do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho para novembro de 2016. É importante ressaltar que o resultado da classificação apresentou índice Kappa de 97%, o que condiz com uma alta precisão na classificação da imagem de satélite. Foram identificadas cinco classes de uso e cobertura na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho, são estas: lagoa/respresa, solo exposto, vegetação, cultura e pastagem.

Uma análise qualitativa deste mapa (Figura 5) mostra que a pastagem e a cultura são as maiores formas de uso da terra na bacia. Visitas *in loco* comprovaram os resultados, apontando para uma vasta presença da cultura de cana-de-açúcar, principalmente na região correspondente à região mais plana da bacia hidrográfica.

As classes temáticas vegetação e solo exposto são de menor predominância na área em estudo se comparadas às classes de cultura e pastagem, como mostra a Figura 5. Em relação à vegetação, isto configura um cenário ambiental preocupante, pois a vegetação exerce a função de proteção dos solos e dos recursos hídricos contra contaminações, movimentações de partículas e processos erosivos. Quanto à classe solo exposto, o ideal é a não existência deste tipo de uso, pois

caracteriza áreas desprovidas de vegetação. A presença de solo exposto é um fator alarmante para a qualidade ambiental de um ambiente, visto que esse tipo de ocupação favorece a ocorrência de processos erosivos, e, conseqüentemente, a degradação ambiental.

Realizou-se uma análise quantitativa sobre a forma de uso e cobertura da terra da bacia, cujo o resultado é apresentado na Tabela 3. Consta-se que a análise quantitativa corrobora a análise qualitativa desenvolvida quanto ao uso e a cobertura da terra da bacia.

Pode-se afirmar, de acordo com a Figura 5 e a Tabela 3, que a bacia hidrográfica do rio Pirapozinho se encontra com *déficit* de vegetação, isto porque a área vegetada corresponde a apenas 6,5% da área total da bacia. Segundo o Novo Código Florestal (Lei nº 12.651 de 2012) a área de vegetação em uma propriedade deve ocupar aproximadamente 20% do valor da área (Brasil, 2012). Áreas com vegetação propiciam a proteção da qualidade ambiental de uma bacia, incluindo a qualidade dos seus recursos hídricos, em razão de reter particulados e proteger os solos de processos erosivos. Também pela análise da Tabela 3 é possível afirmar que a forma atual de uso da bacia aponta para um meio em desequilíbrio ambiental,

uma vez que as áreas correspondentes a pastagem e a cultura somam aproximadamente 90 % da área total da bacia.

Na Figura 6 é apresentado o resultado do mapeamento das áreas de preservação permanente na bacia. Verifica-se que existem trechos isolados de vegetação, sendo a maior concentração de vegetação na porção centro norte. Estudos como o de Dias *et al.* 2014 e de Silva *et al.* 2017 discorrem que a vegetação possui influência direta na qualidade das águas, tanto nos arredores da bacia hidrográfica quanto nas áreas próximas ao corpo d'água.

De um modo geral, o mapa da Figura 6 revela que existe ausência de vegetação ciliar na bacia do rio Pirapozinho, o que implica na exposição dos seus corpos d'água a processos

degradativos, como erosões, e exposição a contaminantes por agrotóxicos e fertilizantes utilizados em propriedade agrícolas próximas ao curso d'água.

Uma análise quantitativa sobre o mapa de APP da bacia do rio Pirapozinho revela que a bacia possui aproximadamente 4955 hectares de área de preservação permanente, e que apenas 15,3% (760 hectares) dessa área apresenta vegetação arbórea atualmente. Contudo, este valor corresponde a apenas 15,34% (total de) da área que deve possuir APP. Tais resultados implicam que a bacia hidrográfica do rio Pirapozinho não atende aos requisitos mínimos exigidos pela legislação vigente (Código Florestal, Lei nº 12.651 de 2012) quanto a composição de áreas de preservação permanente.

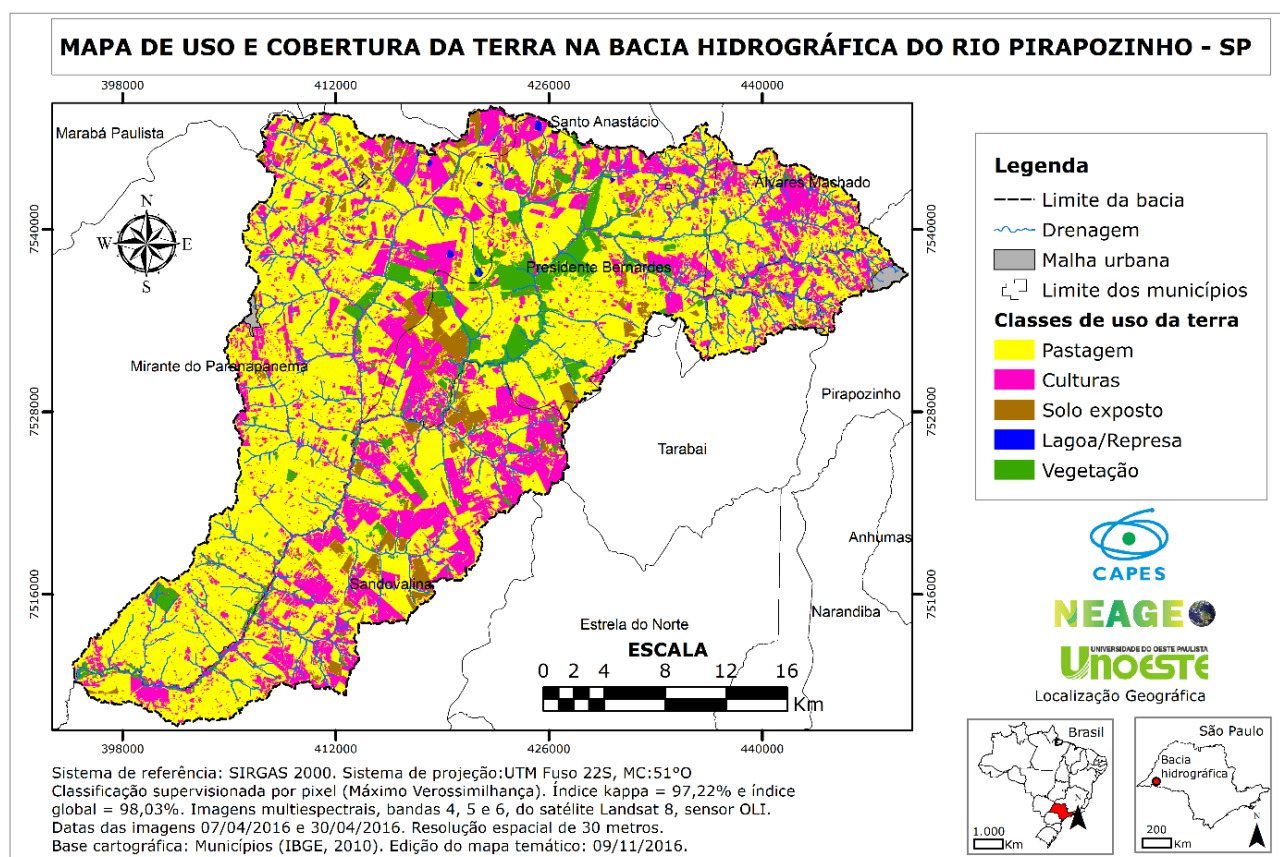


Figura 5. Mapa de uso e cobertura da terra na bacia do rio Pirapozinho.

Tabela 3 - Quantificação do uso e cobertura da terra da bacia do rio Pirapozinho.

Classes de uso e cobertura da terra	Área em km ²	Área em porcentagem
Lagoa/Represa	2,32	0,23
Vegetação	65,89	6,56
Solo Exposto	48,18	4,79
Pastagem	625,75	62,32
Culturas	261,89	26,08
Total	1004	100 %

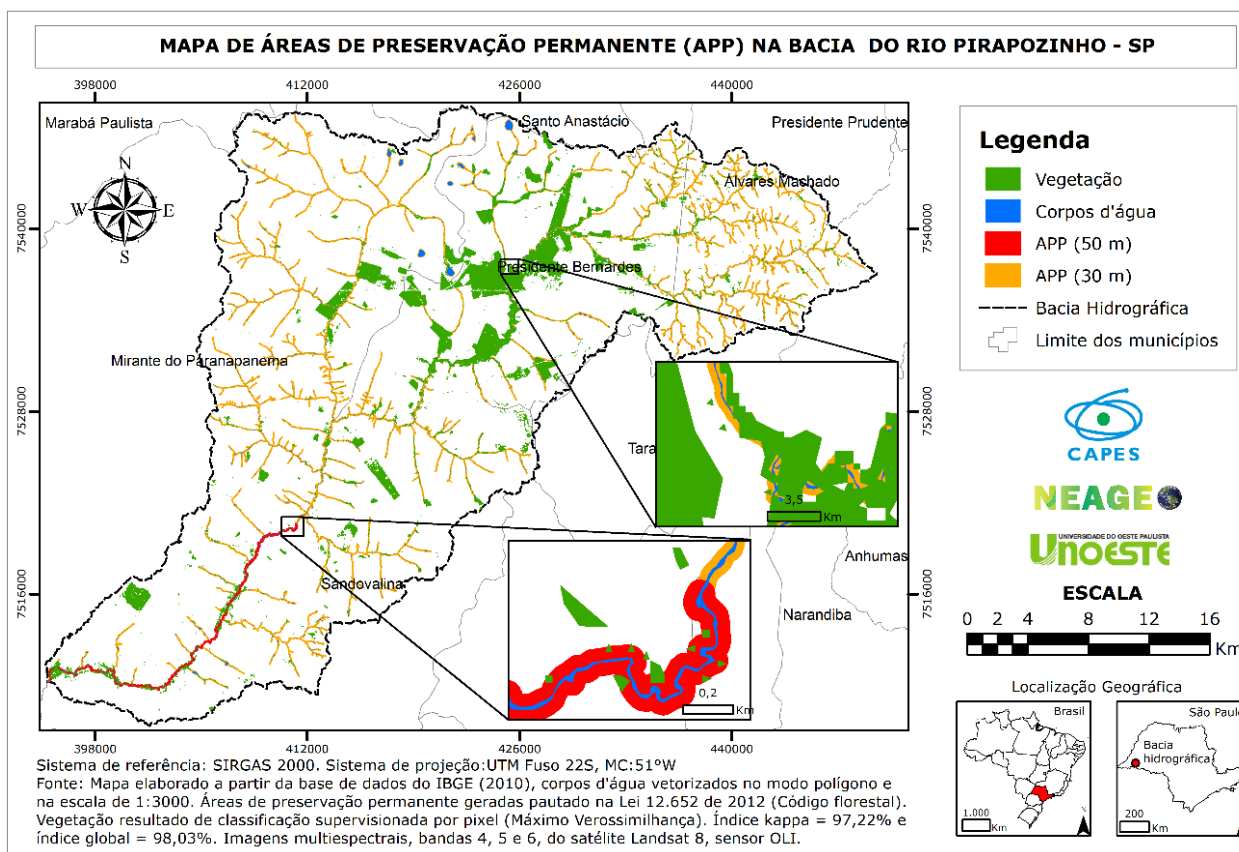


Figura 6 - Áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho..

Análise da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Pirapozinho

Os resultados das análises laboratoriais nos 16 pontos de coleta (Figura 2), considerando os 11 parâmetros para a avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia encontram-se apresentados na Tabela 4. Verifica-se que, em todos os pontos analisados, os resultados dos parâmetros pH e turbidez estão dentro do limite estabelecido pela resolução CONAMA, n° 357/05 para um ambiente lótico (rios com curso contínuo) (Brasil, 2011). Quanto ao valor de temperatura, embora não existam limites estabelecidos por Lei, é sabido que elevadas temperaturas afetam o desenvolvimento da macro e microfauna aquática. As temperaturas mais amenas proporcionam ambientes favoráveis à vida aquática, enquanto temperaturas mais elevadas são ambientes propícios ao desenvolvimento de coliformes termotolerantes (Batista & Harari, 2017).

Os resultados apresentados na Tabela 4 indicam que a bacia do rio Pirapozinho está impactada em toda a sua extensão, visto que se identificou a alteração na qualidade das águas superficiais em aproximadamente 90% dos pontos de coleta. Os parâmetros mais alterados foram

fósforo, DBO e oxigênio dissolvido. Constatou-se que no ponto 1 (P01) a água analisada apresentou valores acima dos limites estabelecidos para os parâmetros de DBO, fósforo e também de *Escherichia coli*. Esses resultados podem ser atribuídos ao fato deste ponto estar localizado a aproximadamente 200 m em relação a jusante do lançamento de um efluente industrial, mais especificamente de um frigorífico bovino. Freitas *et al.* 2010, afirmam que a composição do efluente de frigoríficos é basicamente composta de sangue, gordura, sólidos intestinais e fragmentos de tecidos do animal. Uma visita *in loco* permitiu constatar no ponto água com coloração escura (Figura 7), o que sugere a contaminação da mesma.

Nota-se que há outros pontos na bacia do rio Pirapozinho com valores de DBO acima do valor aceito pela resolução CONAMA, n° 357/05, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011 (Brasil, 2011), quais sejam pontos P4, P5, P6, P9 e P11 (Tabela 4). Verificou-se *in loco*, e também pelo mapa de uso e cobertura (Figura 5), que tais pontos estão inseridos em áreas de atividade agropecuária. Portanto, os dejetos de animais depositados às margens dos recursos hídricos onde os pontos estão localizados podem ser responsáveis

por influenciar a qualidade das águas nestes trechos. Os dejetos de animais são compostos por matéria orgânica biodegradável e, ao se decomporem, colaboram para alteração do valor da DBO.

Na análise de fósforo verificou-se que em aproximadamente 70% dos pontos de análise (P1, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16 e P17) os resultados encontrados ultrapassam o limite aceitável pela legislação vigente (CONAMA, n° 357/05 alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011 (Brasil, 2011)). Isto pode ser explicado pela proximidade de áreas de cultura dos pontos de coleta. Em áreas de cultura, em geral, existe a adição de compostos químicos, principalmente, fertilizantes e praguicidas. Outra influência pode ser a utilização de ferti-irrigação constantemente empregada em culturas da região do Pontal do Paranapanema. Esperancini *et al.* 2015, apontam a cultura da cana-de-açúcar como a terceira cultura que mais demanda fertilizantes no Brasil. No mapa

de uso e cobertura (Figura 5) observa-se a acentuada presença de culturas na bacia, dentre as quais a cana é a principal.

Constatou-se uma alta concentração de oxigênio dissolvido nos pontos P16 e P17 (Tabela 4). Isto pode ser justificado considerando a localização dos pontos que estão próximos à foz da bacia (Figura 2), onde há maior volume de água ocorrendo maior movimentação do corpo hídrico e, assim, maior inserção natural de oxigênio. O teor de oxigênio dissolvido em um meio tende a reduzir quanto mais elevada é a sua temperatura, assim como mediante a fotossíntese de uma vegetação submersa (Silva *et al.*, 2008). Souza e Nunes 2008, afirmam que o baixo nível de oxigênio dissolvido ocorre devido ao elevado número de coliformes em uma amostra, e a baixa quantidade de oxigênio compromete o desenvolvimento de espécies aeróbicas, gerando assim um ambiente eutrófico.



Figura 7 - Localização de coleta de amostra de água referente ao ponto 1 (P01). Em (a) vista em perspectiva do local de coleta. Em (b) vista de cima do ponto de coleta.

Tabela 4 - Resultado da análise da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica.

Pontos \ Parâmetros	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	CONAMA 357/05
pH	7,70	6,96	7,65	7,60	7,65	8,26	6,70	6,89	7,14	6,85	7,05	7,8	7,5	7,1	7,0	7,2	6-9
Condutividade (μ s)	1800	143	128	115	130	28	32	54	34	74	49	31	30	37	55	47	-
Turbidez (UNT)	37,4	35,6	25,9	33,7	46,2	24,0	16,7	13,6	21,3	17,5	57,9	11,5	10,6	13	17,8	22,2	100
DQO (mg/L)	146,67	-	-	-	-	20	10	30	40	30	48,34	25	10	0	3,33	3,33	-
DBO (mg/L)	22	4	5	6	19	10	3	5,5	4,5	22	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3	5
Fósforo (mg/L)	0,25	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,61	0,54	0,61	0,72	0,67	0,72	0,52	0,56	0,69	0,64	0,03
Coliformes totais (UFC/100 mL)	18000	1600	1440	2040	4040	840	210	160	350	5360	190	490	290	470	600	1860	-
Esch. Coli (UFC/100 mL)	19600	90	120	160	760	180	20	0	60	10	20	30	30	80	40	120	1000
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,45	2,05	4,70	5,23	5,03	5,38	5,32	3,53	5,30	16,42	35,04	5,98	31,70	15,71	20,05	25,44	≥ 5
Temperatura (°C)	26,5	29,1	31,0	31,1	29,9	28,8	32,2	31,6	29,5	30,2	26,8	26,3	29,9	29,4	30,8	31,0	-
Nitrogênio Total (mg/L)	7,6	1,7	2,3	2,1	8,5	0,8	1,1	2,3	1,7	2,3	1,6	1,5	1,4	1,6	1,8	2,0	3,7-8,54

IQA da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho

Com o objetivo de expressar a qualidade da água da bacia do rio Pirapozinho, por meio do IQA, realizou-se o cálculo do índice para cada um dos 16 pontos, cujo os resultados estão apresentados na Tabela 5. Para facilitar a interpretação e análise do IQA da bacia, os resultados estão separados conforme a sub-bacia hidrográfica à que pertencem, em um mapa contendo três classes, sejam estas: 1) qualidade da água ótima (IQA de 100 até 80); 2) qualidade da água boa (IQA de 79 até 52) e; 3) qualidade da água razoável (IQA de 51 até 37); conforme mostra a Figura 8.

O IQA para o rio principal (Pirapozinho) é a média dos valores do IQA dos pontos P1, P5, P11, P16 e P17, pois foram os pontos de coleta realizados diretamente neste rio. Destaca-se a maior predominância da classe com o IQA variando entre 52 e 79, o que permite afirmar que a bacia do rio Pirapozinho se encontra em condições boas em relação a qualidade de suas águas superficiais. Tal fato se deve a provável ausência de lançamento de efluentes nos corpos hídricos na maior parte de suas sub-bacias. A abordagem de se avaliar a qualidade da água usando o IQA é tradicional e pode ser constatada em trabalhos como o de Lobato et al. 2015 e Sener et al. 2017.

A sub-bacia do córrego do Cavalão Morto foi a única área do rio Pirapozinho com “ótima” qualidade da água (IQA de 100 até 80). As análises laboratoriais apontaram para a ausência de coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) nas amostras de água desta bacia, o que foi considerado um fator determinante para o alto valor de IQA obtido. Souza et al. 2011 apontam que esgotos são fontes de contaminação microbiológica, mais especificamente de coliformes fecais. Embora parte da área urbana do município de Mirante do Paranapanema situa-se na sub-bacia do córrego do Cavalão Morto não houve contaminação por lançamento de efluentes domésticos não tratados na área na época da coleta.

O mapa de qualidade da água (Figura 8) permite afirmar que houve um processo de autodepuração do rio Pirapozinho quando se

compara a qualidade da água do montante (próximo ao ponto P1) com a jusante (próximo ao ponto P17) do rio. Constatou-se pelas análises laboratoriais que as cabeceiras de drenagem (próximas ao P1) encontram-se impactadas com o lançamento de efluente industrial, o que caracterizou a qualidade da água como ruim no local. Contudo, a qualidade da água é recuperada na foz do mesmo rio, o que se comprova ao se analisar o IQA dos pontos P16 e P17 (Tabela 5).

Os dados apontam para um processo de estabilidade da qualidade da água, visto que os pontos P16 e P17 apresentaram valores aproximados, mesmo distando aproximadamente oito quilômetros um do outro. Todavia, é válido ressaltar que o rio Pirapozinho, ainda que recebendo contribuições das demais sub-bacias hidrográficas, conforme a distância ente os pontos P1 e P17, percorreu por pelo menos 60 quilômetros para se autodepurar. Isto é uma evidência da dificuldade de autodepuração dos corpos hídricos da região do Pontal do Paranapanema quando impactados.

O processo de autodepuração nos corpos hídricos da bacia do rio Pirapozinho pode ser acelerado caso ocorra a recomposição das áreas de preservação permanente da bacia. Marmontel & Rodrigues 2015, realizaram o comparativo da qualidade das águas em áreas de nascentes com a presença de vegetação natural e em áreas com a predominância de atividade agrícola. Os autores concluíram que a vegetação auxilia na proteção da qualidade dos recursos hídricos, enquanto a ação antrópica por atividade agrícola reduz a qualidade das águas. As áreas de preservação permanente atuam na retenção de sedimentos e demais elementos xenobióticos, além de favorecer a saturação de água no solo, o que reduz a área de escoamento superficial e promove o abastecimento dos lençóis freáticos de uma bacia. Assim, uma vez que a APP seja recomposta, e não haja pontos de contaminação a jusante, a tendência é de ocorra uma redução da presença de agentes contaminantes nas águas superficiais.

Tabela 5 – Valores do IQA estimados para a bacia hidrográfica do rio Pirapozinho.

Pontos de coleta	Valor do IQA	Classificação da qualidade da água
P1	30	Ruim
P2	55	Boa
P3	68	Boa
P4	71	Boa
P5	50	Razoável
P6	71	Boa
P8	69	Boa
P9	84	Ótima
P10	64	Boa
P11	50	Razoável
P12	60	Boa
P13	68	Boa
P14	64	Boa
P15	61	Boa
P16	61	Boa
P17	58	Boa

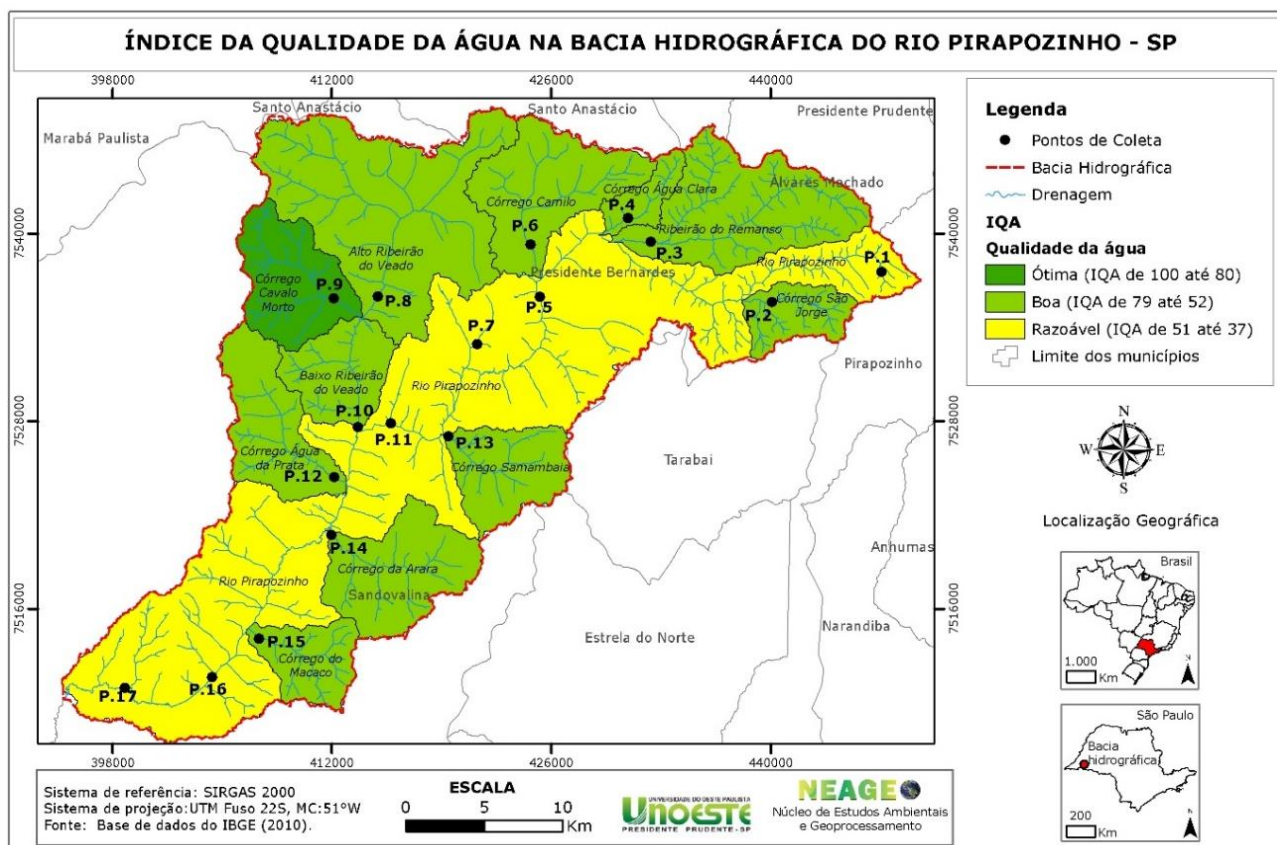


Figura 8- Mapa de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho.

Conclusão

Este trabalho apresenta uma avaliação da influência do uso e cobertura da terra em parâmetros quantitativos e de qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho a partir do emprego de

Geotecnologias. Constatou-se que a bacia encontra-se em um desequilíbrio ambiental, oriundo do processo inadequado de ocupação por pastagem e culturas, e por apresentar baixa cobertura de vegetação arbórea, principalmente, nas áreas de preservação permanente. Entende-se

que a forma atual de uso e cobertura da bacia tem contribuído de forma negativa com a qualidade dos recursos hídricos. Identificou-se que o lançamento de efluentes impactou a qualidade das águas da bacia por dezenas de quilômetros a jusante do ponto de lançamento. A presença de fósforo acima dos limites permitidos pela resolução CONAMA é um dos reflexos da intensa atividade agropecuária na região da bacia.

Conclui-se, também, que há um descumprimento da legislação ambiental vigente, o novo código florestal, uma vez que não se observa, em mais de 85% da área de APP, as faixas mínimas de vegetação que devem existir para a proteção dos cursos d'água. A ausência de vegetação ciliar expõe os recursos hídricos a contaminações e a incidência de processos erosivos. É importante considerar que o equilíbrio da qualidade das águas depende do processo de manejo sustentável do meio como um todo, e que manejos inadequados influenciam todo o sistema.

A partir das ferramentas de geoprocessamento aplicadas no ambiente de um Sistema de Informação Geográfica utilizando dados geoespaciais livres, pôde-se elaborar os produtos cartográficos necessários para desenvolver a análise da qualidade ambiental da bacia do rio Pirapozinho. Assim, este estudo de caso confirma o potencial das geotecnologias em otimizar o processo de integração de dados cartográficos e viabilizar a produção de informações que auxiliam na interpretação da dinâmica ambiental de uma área.

Recomenda-se para a bacia do rio Pirapozinho a adoção de medidas de recuperação de áreas degradadas, como a recomposição da vegetação ciliar. Essa medida deve desacelerar ou até mesmo eliminar os impactos ambientais na bacia. Para uma análise ainda mais enriquecida da qualidade ambiental sugere-se a avaliação da qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica, bem como uma análise multitemporal do uso e cobertura da terra na área, e que esses resultados sejam analisados conjuntamente com aqueles obtidos no presente trabalho. Entende-se que com isto será possível melhor compreender a dinâmica de ocupação desta bacia hidrográfica localizada na região do Pontal do Paranapanema.

Referências

Albuquerque, E.L.S., Souza, M.J.N., 2016. Condições ambientais e socioeconômicas nas bacias hidrográficas costeiras do setor leste

metropolitano de Fortaleza, estado do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 110-124.

Abreu, C. H. M. & Cunha, A. C. 2017. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22, 45-56.

Amorim, D. G.; Cavalcante, P. R. S.; Soares, L. S. & Amorim, P. E. C. 2017. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22, 241-259.

Batista, S. S. & Harari, J. 2017. Modelagem da dispersão de coliformes termotolerantes e enterococos em duas enseadas na região costeira de Ubatuba (SP), Brasil. *Eng Sanit Ambient* 22, 403-414.

Braido, L. M. H & Tommaselli, J. T. G. 2012. Setorização de fatores ambientais – Clima, solos e relevo para o planejamento ambiental e territorial na região do Pontal do Paranapanema – SP – Brasil. *Revista Geonorte* 3, 1268-1282.

Brasil, 2011. Resolução n 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acessado em: 10 de junho de 2018.

Brasil. 2012. Novo Código Florestal. Lei n 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm>. Acessado em: 10 de junho de 2018.

De Biasi, M. 2011. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. *Revista Do Departamento De Geografia* 6, 45-60.

Dias, A. C.; Pinto, A. L. & Pott, A. 2014. Estudo e análise da mata ciliar e sua influência na qualidade da água do córrego Bom Jardim – Brasilândia/MS. In: Benini, S. M.; Dias, L. S.; Benini, E. M. Avaliações ambientais em bacias hidrográficas – Tupã, ANAP. 146.

Dibieso, E. P. & Leal, A. C. 2008. Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Cedro - Presidente Prudente - SP. *Geografia. Ensino & Pesquisa (UFSP)*, Santa Maria 12, 433-448.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Informação Tecnológica. 2014. Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde / editores técnicos, Sérgio Gomes Tôsto ... [et al.]. –

- Brasília, DF: Embrapa. – Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas, 248: il.
- Esperancini, M. S. T. et al. 2015. Dose ótima econômica de nitrogênio em cana-de-açúcar aplicada via fertirrigação por gotejamento. *Irriga* 1, 28.
- Felicio, M. J. 2013. A questão agrária no Pontal do Paranapanema e o debate paradigmático. *Campo-território: revista de geografia agrária*, 8, p. 1-28.
- Francisco, C. N. & Almeida, C. M. de. 2012. Interpretação de imagens orbitais por meio de sistema especialista para o mapeamento de cobertura da terra em região montanhosa. *Soc. & Nat.*, Uberlândia 24, 283-302.
- Freitas, G. A.; Santos, L. B.; Siebeneichler, S. C.; Nascimento, I. R. D.; Silva, R. R.; Capone, A. 2010. Resíduo de efluente de frigorífico bovino como fertilizante alternativo para a produção de rúcula. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia* 3, 39-44.
- Garcia, R. M. & Leal, A. C. 2012. Planejamento ambiental e gestão das águas: estudo aplicado à bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçu, Sandovalina, São Paulo. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista* 8, 86-102.
- Ion, A.; Vladescu, L.; Badea, I. A.; Comanescu, L. 2016. Monitoring and evaluation of the water quality of Budeasa Reservoir-Arges River, Romania. *Environmental Monitoring and Assessment* 188, 2351–2354.
- Lobato, T. C.; Hauser-Davis, R.A.; Oliveira, T. F.; Silveira, A. M.; Silva, H. A. N.; Tavares, M.R.M.; Saraiva, A.C.F. 2015. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. *Journal of Hydrology* 522, 674-683.
- Maranho, L. A.; Botello, R. G.; Nogueira, L. A. & Tornisielo, V. L. 2017. Avaliação da qualidade da água do Ribeirão Samambaia (São Pedro, São Paulo, Brasil) através de parâmetros físicos e químicos, índice de estado trófico e teste de toxicidade com *Daphnia magna* *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22, 195-20.
- Marmontel, C. V. F. & Rodrigues, V. A. 2015. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. *Floresta e Ambiente* 22, 171-181.
- Mostafaei, A. 2014. Application of multivariate statistical methods and water-quality index to evaluation of water quality in the Kashkan River. *Environmental Management* 53, 865-881.
- Oliveira, R. M. M.; Santos, E. V. & Lima, K. C. 2017. Avaliação da qualidade da água do riacho São Caetano, de Balsas (MA), com base em parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22, 523-530.
- Piratoba, A. R. A., Ribeiro, H. M. C., Morales, G. P., & Gonçalves, W. 2017. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 12, 435-456.
- Rice, E.W.; Baird, R.B.; Eaton, A.D. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. ed. 23, 277.
- Santos, E. P. & Piroli, E. L. 2012. Análise do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do ribeirão do Rebojo usando geoprocessamento: uma contribuição ao planejamento ambiental – UGRHI Pontal do Paranapanema (SP) – Brasil. *Revista Geonorte* 3, 1244-1261.
- Sardinha, D.S.; Conceição, F.T.; Souza, A.D.G.; Silveira, A.; Julio, M.; Gonçalves, J.C.S.I. 2008. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Ribeirão do Meio, Leme (SP). *Engenharia Sanitária e Ambiental* 13, 329-338.
- Sener, S.; Sener, E.; Davraz, A. 2017. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the total Environment* 585, 131-144.
- Silva, A. E. P. et al. 2008. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. *Acta Amazonica* 38, 733 – 742.
- Silva, M. P.; Santos, F. M. & Leal, A. C. 2016. Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do córrego da Olga, UGRHI Pontal do Paranapanema – São Paulo. *Revista Sociedade & Natureza*. 28, 409-428.
- Silva, M.S.; Bueno, I. T.; Júnior, F. W. A.; Borges, L. A. C.; Calegario, N. 2017. Avaliação da cobertura do solo como indicador de gestão de recursos hídricos: um caso de estudo na sub-bacia do Córrego dos Bois, Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22, 445-452.
- Soares, F. B. & Leal, A. C. 2011. Planejamento ambiental da bacia do balneário da Amizade nos municípios de Álvares Machado e Presidente

- Prudente – São Paulo. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista 7, 75-93.
- Souza, J. A. A. et al. 2011. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. Acta Scientiarum Technology 33, 5-8.
- Souza, M. M. & Gastaldini, M. C. C. 2014. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. Engenharia Sanitária e Ambiental 19, 263-274.
- Torres, J. L. R.; Guidolini, J. F.; Santana, M. G.; Santos, E. C. & Laureano, M. B. J. 2010. Avaliação das características morfológicas e hidrológicas da microbacia do córrego Buracão, afluente do rio Uberaba. Caminhos de Geografia 11, 157-167.