



ANÁLISE LIMNOLÓGICA E A EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANASTÁCIO, PIQUEROBI/SP.

Mariana Ribeiro Fernandes¹
Renata Ribeiro de Araújo²
Maria Cristina Rizk³
Aline Aparecida dos Santos⁴
Paulo César Rocha⁵

Resumo:

A cana-de-açúcar é uma monocultura implantada na região do Pontal do Paranapanema/SP e que vem aumentando gradativamente ao longo do tempo, ocupando o entorno de canais fluviais das bacias hidrográficas. Diante disso, essa pesquisa teve como objetivo realizar uma análise das relações entre variáveis limnológicas com a cobertura da terra em uma seção amostral situada em uma sub-bacia hidrográfica no Rio Santo Anastácio, no município de PiqueroBi/SP. O pH, temperatura da água, condutividade elétrica, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), fósforo total, amônia, oxigênio dissolvido, sólido dissolvido total e sólido total foram as variáveis limnológicas analisadas e os valores analisados foram extraídos do banco de dados da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) para os anos de 2002, 2007, 2013 e 2016. Os dados foram analisados por meio de uma Análise de Componentes Principais (ACP). Foram utilizadas imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) para delimitar as áreas de drenagem para a seção amostral, por meio de vetorização de polígonos. Para extração das informações acerca da distribuição da cana-de-açúcar na região para o recorte temporal, foi utilizado o mapeamento temático produzido por diversos pesquisadores do CETAS (Centro de Estudos do Trabalho, Ambiente e Saúde) na escala 1:250.000. Os resultados indicaram que em anos com menores quantidades de cana houve carga maior de nutrientes dissolvidos nas águas. Por outro lado, quando aumentaram as áreas com cana, os resultados demonstraram que houveram maiores valores de material em suspensão total.

Palavras-Chave: Limnologia, Cana-de-açúcar, Rio Santo Anastácio, Pontal do Paranapanema.

LIMNOLOGICAL ANALYSIS AND THE EXPANSION OF SUGARCANE IN A SUB-BASIN IN THE SANTO ANASTÁCIO RIVER, PIQUEROBI/SP

Abstract:

Sugarcane is a monoculture implanted in the Pontal do Paranapanema / SP region and has been increasing gradually over time, occupying the surroundings of river channels of the river basin. The objective of this research was to analyze the relationships between limnological variables and land cover in a sample section located in a sub-basin in the Santo Anastácio River, near the municipality of PiqueroBi / SP. The pH, water temperature, electrical conductivity, Biochemical Oxygen Demand (BOD), total phosphorus, ammonia,

¹Mestranda do Programa de Mestrado Profissional em Geografia. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente – SP. E-mail: marianaribeiro.f06@gmail.com

²Professora Assistente Doutora do Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente – SP. E-mail: renata.r.araujo@unesp.br

³Professora Assistente Doutora do Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente – SP. E-mail: mc.rizk@unesp.br

⁴Mestranda do Programa de Mestrado Profissional em Geografia. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente – SP. E-mail: aline.ap.as@hotmail.com

⁵Professor Assistente Doutor do Departamento de Geografia. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente – SP. E-mail: paulo-cesar.rocha@unesp.br



dissolved oxygen, total dissolved solid and total solid were the limnological variables analyzed and the values analyzed were extracted from the CETESB database (Environmental Company of the State of São Paulo) for the years 2002, 2007, 2013 and 2016. The data were analyzed by means of a Principal Component Analysis (PCA). Images of the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) were used to delineate the drainage areas for the sample section, by means of polygon vectorization. In order to extract information about the distribution of sugarcane in the region for the temporal cut, the thematic mapping produced by several researchers from CETAS (Center for Work, Environment and Health Studies) was used in the 1: 250,000 scale. The results indicated that in years with smaller amounts of sugarcane there was a greater load of nutrients dissolved in the waters. On the other hand, when the areas with cane were increased, the results showed that there were higher values of total suspended solids.

Keywords: limnology, sugarcane, Santo Anastácio river, Pontal do Paranapanema.

1. Introdução:

A região do Pontal do Paranapanema situa-se na porção oeste do Estado de São Paulo, pertencente à UGRHI – 22 (Unidade Hidrográfica de Gestão dos Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema) e é composta por 26 municípios (CBH-PP, 2018). No que tange ao uso e ocupação do solo dessa bacia hidrográfica, destaca-se como o de maior expansão o monocultivo da cana-de-açúcar.

Em consonância com Barreto e Thomaz Junior (2012), a exploração de terras para a implantação da atividade canavieira no Pontal do Paranapanema é bastante atual se comparado a outras regiões do país ou do Estado de São Paulo. Em 2005, essa prática agrícola se apresentou mais acentuada na região, aumentando gradativamente nos anos subsequentes.

No que concerne às práticas promovidas pela expansão da cana-de-açúcar, é fundamental que se leve em consideração os impactos ambientais resultantes, precisamente nos corpos d'água situados nas áreas próximas a esses cultivos, seja por meio de práticas indevidas no solo, uso excessivo de agrotóxicos e outros produtos químicos, apresentando assim alterações nos aspectos físicos e químicos dessas águas e comprometendo a sua qualidade.

Kiang, Soto e Basso (2017) corroboram com essa informação, relatando que:

Dentre os impactos na qualidade da água, está o uso de fertilizantes e pesticidas (antrazina, simazina e ametrina), além do resíduo característico durante a produção de etanol (vinhaça), os quais podem ser transferidos através de escoamento superficial e/ou lixiviados para águas superficiais e subterrâneas (KIANG, SOTO e BASSO, 2017, p. 274).

O estudo da qualidade da água é uma forma importante de diagnosticar os principais problemas associados às atividades humanas que afetam a dinâmica natural do corpo d'água. A



qualidade da água de uma microbacia pode ser influenciada por diversos fatores e, dentre eles, estão o clima, a cobertura vegetal, a topografia, a geologia, bem como o tipo, o uso e o manejo do solo da bacia hidrográfica (VAZHEMIN, 1972).

Neste contexto, o monitoramento limnológico refere-se à avaliação da qualidade da água dos ecossistemas aquáticos continentais, dentre eles rios e lagos. Utilizando de coleta e análises de dados periódicos, este método fornece informações sobre a qualidade da água visando à melhoria no gerenciamento dos ecossistemas aquáticos (WETZEL, 2001).

Tendo em vista a contextualização abordada, essa pesquisa teve como objetivo realizar uma análise das relações entre variáveis limnológicas com a cobertura da terra em uma seção amostral situada em uma sub-bacia hidrográfica no Rio Santo Anastácio, no município de Piquerobi/SP, entre os anos de 2002 a 2016.

Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do trabalho, foram delimitadas as áreas de drenagem contribuintes para a seção de amostragem limnológica sub-bacia situada na bacia hidrográfica o Rio Santo Anastácio, no município de Piquerobi/SP. Para tanto, foi realizada a vetorização de polígonos a partir de curvas de nível geradas por imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). O processo de vetorização das sub-bacias hidrográficas foi realizado no Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGis©.

Em relação aos dados de cobertura da terra, e considerando a evolução da apropriação por canais na região entre os anos de 2002, 2007, 2013 e 2016, foram extraídos os dados quantitativos da ocupação de cana-de-açúcar em cada área de drenagem contribuinte para cada ano, por meio dos arquivos vetoriais gerados. A quantificação das áreas de plantio (km²) foi realizada no ArcGis©, a partir da ferramenta *tabulateintersection*.

As informações acerca da espacialização da cana-de-açúcar foram extraídas do mapeamento temático realizado pelos pesquisadores do Centro de Estudos do Trabalho, Ambiente e Saúde (CETAS) para os anos de 2002, 2007, 2013 e 2016, na escala 1:250.000. Os dados foram organizados e tratados no *software Excel*©.

As informações de qualidade da água na seção amostrada pertencente à bacia hidrográfica do Rio Santo Anastácio (STAN 02700), foram extraídas da base de dados da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) para os anos de 2002, 2007, 2013 e 2016, sendo essas análises



realizadas de forma sazonal nos meses de fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro dos respectivos anos.

A Análise de Componentes Principais (ACP) (GAUCH, 1994) foi aplicada para as variáveis pH, temperatura da água, condutividade elétrica, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), fósforo total, amônia, oxigênio dissolvido, sólido dissolvido total e sólido total, a partir de análise no *software* Statistica 7.0. Os valores dos parâmetros limnológicos, exceto os do pH, foram log transformados (base dez), para linearizar as relações e reduzir o efeito de valores elevados. Para avaliar os eixos a serem retidos para interpretação foi utilizado o modelo de *broken-stick* (JACKSON, 1993).

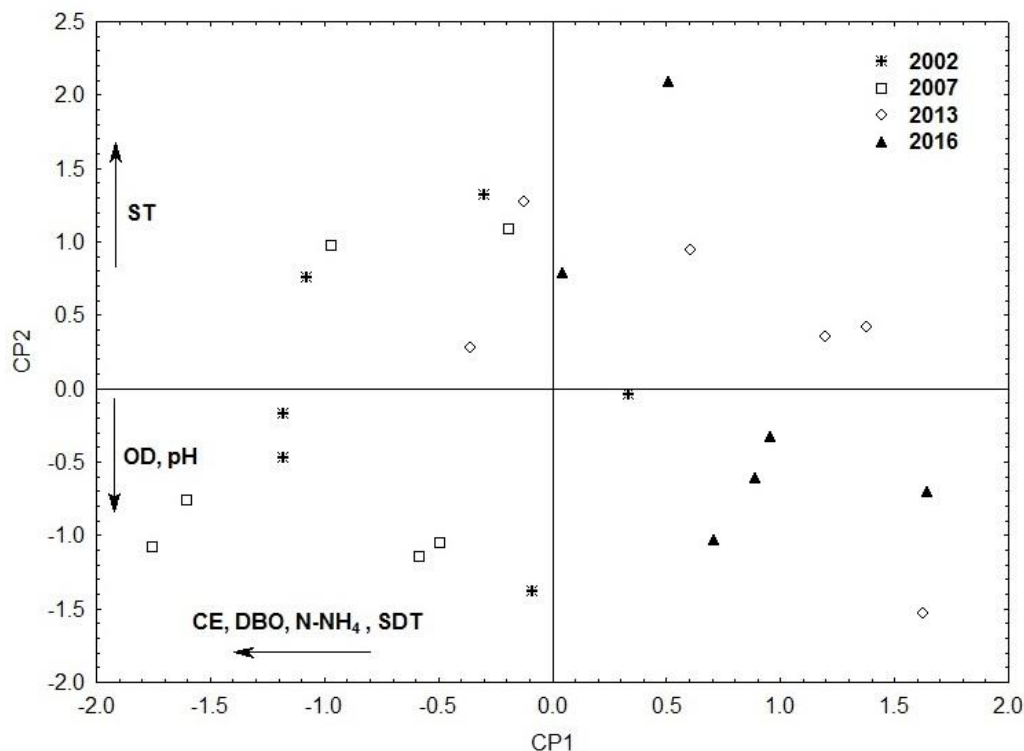
A análise estatística exploratória foi aplicada com o objetivo de reduzir a dimensionalidade dos dados e avaliar possíveis padrões das variáveis limnológicas na ordenação temporal, em relação aos períodos amostrados e em relação à quantidade de área com presença de cana-de-açúcar na sub-bacia.

Resultados e Discussão

Como resultados, a Análise de Componentes Principais explicou 66,23% da variabilidade dos dados (CP1: 42,72%; CP2: 23,51%) e os valores maiores que 0,60 (em módulo) foram retidos para essa análise.

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos na ACP em relação à variabilidade temporal das variáveis limnológicas. As variáveis condutividade elétrica, DBO, nitrogênio amoniacal e sólidos dissolvidos totais correlacionaram-se negativamente com o CP1. O oxigênio dissolvido e o pH correlacionaram-se negativamente com CP2. A variável sólido total correlacionou-se positivamente com o CP2.

Figura 1 – Resultado da Análise de componentes principais em relação à variabilidade temporal.



Fonte: Autores (2018).

Os resultados indicaram que para os anos de 2002 e 2007 houve uma tendência de maiores valores das variáveis condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal e sólidos dissolvidos totais. Em contrapartida para os anos de 2013 e 2016 houveram menores valores dessas variáveis. Além disso, pôde-se verificar uma tendência de maiores valores de oxigênio dissolvido e pH para os anos de 2007 e 2016. E ainda, pôde-se verificar que para o ano de 2013 maiores valores de material em suspensão foram notados.

De acordo com a literatura, esta variabilidade temporal dos dados limnológicos podem ser explicadas por vários fatores. Pesquisas indicam fatores naturais como a geologia, geomorfologia, clima e entre outros, como funções de força atuantes na quantidade e qualidade da água de um canal fluvial (VANNOTE et al, 1980; WARD, 1989; PETTS & FOSTER, 1990). Outras pesquisas indicam, além desses, os fatores antrópicos como desmatamento e utilização das áreas de drenagem para agricultura, utilização das águas superficiais para abastecimento humano, para diluição de efluentes, para irrigação, para reservação e entre outros (TUNDISI, 2003; AZEVEDO & CHASIN, 2003; MATTHIENSEN et al, 2014).



Atualmente reconhece-se que o desflorestamento, as práticas de uso da terra agrícola e urbana, a utilização da água subterrânea para abastecimento e irrigação, além da construção de grandes barramentos para abastecimento e, principalmente, para geração de energia, somadas, geram um efeito bola-de-neve e contribui para alterações no ciclo e regime hidrológicos dos rios. Além deste, outros aspectos relacionados à drenagem entram em desequilíbrio, como os ecossistemas terrestres e aquáticos e a dinâmica erosivo-deposicional nas vertentes e nos canais fluviais (ROCHA & TOMMASELLI, 2012).

Assim, considerando uso do solo na área de drenagem contribuinte para a seção de amostragem limnológica (sub-bacia), ao longo dos anos de 2002, 2007, 2013 e 2016, observou-se um expressivo aumento da cana-de-açúcar nessas áreas.

A área total da sub-bacia hidrográfica foi de 1.203,03 km² e os valores das áreas ocupadas por cana-de-açúcar, em km², nos anos de 2002, 2007, 2013 e 2016 estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores em km² e em porcentagem da cana-de-açúcar em relação à área da sub-bacia hidrográfica.

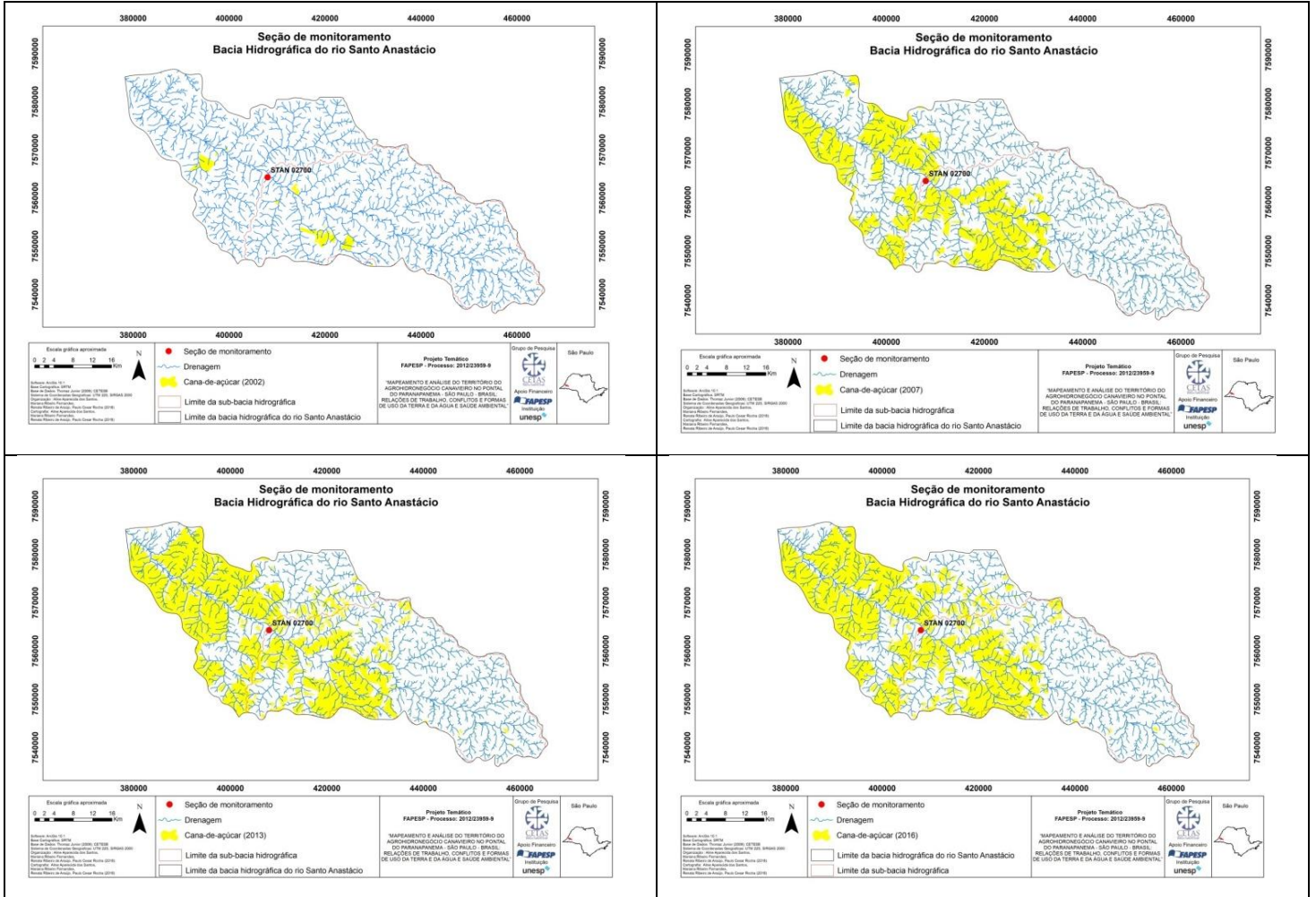
Ano	Área da sub-bacia hidrográfica ocupada com cana-de-açúcar (km ²)	Área da sub-bacia hidrográfica ocupada com cana-de-açúcar (%)
2002	19,2	02
2007	233,4	19
2013	268,5	22
2016	312,2	26

Fonte: Autores (2018).

Observou-se que no ano de 2002 a presença da cana-de-açúcar se resumia em pequenas áreas da sub-bacia, totalizando apenas 2%, este resultado está apresentado na Figura 2.



Figura 2. Evolução do cultivo de cana na sub-bacia do rio Santo Anastácio. Em detalhe os limites da sub-bacia e a seção de amostragem utilizada para o trabalho.



Fonte: Autores (2018).



Para o ano de 2007 a cana-de-açúcar passou a ocupar um percentual de 19% da sub-bacia, modificando nitidamente o uso do solo. Comparando-se o ano de 2002 e 2007 houve um aumento de 214,2 Km² em áreas agricultáveis pela classe cana-de-açúcar.

Para o ano de 2013 a cana-de-açúcar passou a ocupar um percentual de 22% da sub-bacia. Pôde-se observar que houve um aumento de 35,10 Km² de 2007 para 2013 de áreas agricultáveis pela cana-de-açúcar.

Para o ano de 2016 a cana-de-açúcar passou a ocupar um percentual de 26% da sub-bacia. Comparando-se o aumento de cana-de-açúcar do ano de 2013 para 2016 houve um aumento de 43,7km².

Comparando-se o avanço temporal da cana-de-açúcar com os resultados da Análise de Componentes Principais verificou-se que o agrupamento limnológico dos anos 2002 e 2007 ocorreu nos períodos com menores quantidades de cana na sub-bacia. O agrupamento nos anos 2013 e 2016 ocorreram nos anos em que verificaram-se maiores quantidades de cana-de-açúcar na bacia. Estes resultados indicaram que em anos com menores quantidades de cana houveram uma carga maior de nutrientes dissolvidos nas águas.

Para o ano de 2013, os resultados demonstraram que houveram maiores valores de material em suspensão total. No ano de 2013, comparado ao ano de 2002, houve um aumento de 20% de cana-de-açúcar na sub-bacia. Com o aumento do cultivo da cana pode ter ocorrido o incremento no arraste de sedimentos por escoamento superficial, provocando o aumento de material em suspensão total nas águas.

Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) relatam que em regiões onde as práticas agrícolas são abundantes e há a ausência de um manejo adequado do solo, o arraste de sedimentos se dá em uma proporção significativa estimulando impactos nos cursos d'água, alterando suas características biológicas, químicas e físicas. Ainda, segundo os mesmos autores, a diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido está intrinsecamente ligada com a presença elevada de sedimentos, possivelmente isso explique os baixos índices de oxigênio dissolvido no ano de 2013 e maiores valores de material em suspensão total.



Brunini et al. (2017) alertam que as práticas agrícolas provenientes do cultivo canavieiro proporcionam efeitos adversos na qualidade da água, ainda que sejam ou não protegidos por vegetação.

Estudos de Arroio Jr, Araújo & Souza (2011), que avaliaram o comportamento espacial e temporal de variáveis limnológicas na bacia hidrográfica do Rio Santo Anastácio, revelaram que a principal constatação do estudo foi a de que as respostas observadas no Rio Santo Anastácio podiam estar relacionadas com atividades antrópicas, como a elevada impermeabilização do solo nas vertentes da bacia, a ausência de medidas de contenção a processos erosivos, a retirada de vegetação ripária, a contaminação e o assoreamento dos corpos hídricos e a ocupação desordenada do solo.

Vale ressaltar que, a pesquisa não analisou outros possíveis relacionamentos com a qualidade das águas, como com as demais classes de usos ocorridos na sub-bacia, ou com outros fatores naturais ou antrópicos. Portanto, os resultados podem estar fortemente correlacionados com outras funções de força. Pode-se citar como exemplos de fatores que poderiam ser avaliados, além do uso e cobertura da terra na sub-bacia, a evolução no tratamento de efluentes ocorridos nos últimos anos em cidades que lançam seus efluentes industriais ou domésticos nos canais fluviais da sub-bacia.

Assim, considera-se importante a análise de outras funções de força, para uma inferência concreta das relações, processos e do entendimento da dinâmica das águas superficiais da sub-bacia em questão.

2. Conclusões

A análise de componentes principais é uma ferramenta necessária para o entendimento das variáveis limnológicas e seu comportamento diante do uso e ocupação do solo de bacias hidrográficas. Por meio da ACP realizada para esse estudo, constata-se que intensas práticas agrícolas podem influenciar direta e indiretamente na qualidade e na quantidade da água em cursos d'água, especificamente em regiões onde a monocultura ocorre de maneira predominante no ambiente.



Por meio do mapeamento realizado, observou-se que o percentual de cana-de-açúcar que abrange a área de drenagem da sub-bacia estudada vem aumentando gradativamente no decorrer dos anos. Isso demonstra que a produtividade canavieira vem se solidificando notoriamente na região do Pontal do Paranapanema, mais precisamente na sub-bacia analisada, tornando essa e outras questões relevantes a serem analisadas no que tange ao uso e ocupação do solo e suas interferências em canais fluviais.

Recomenda-se, para melhor interpretação dos resultados, devem-se levar em consideração outros aspectos que possam influenciar na interpretação das análises como, por exemplo, lançamento de efluentes, as características do meio físico e da vegetação nativa, regime hidrológico e os diferentes compartimentos existentes no ambiente aquático que resultam nos habitats e as dinâmicas que ocorrem entre eles.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro, Processo nº 2012/23959-9; ao Laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos e ao Centro de Estudos do Trabalho, Ambiente e Saúde (CETAS) da FCT/UNESP, pelo apoio instrumental e logístico na execução dos trabalhos.

Referências

ARROIO JUNIOR, Paulo Ponce; ARAÚJO, Renata Ribeiro de; SOUZA, Ariane de. **Monitoramento da Qualidade da Água no Manancial do Rio Santo Anastácio**. Colloquium Exactarum, Presidente Prudente, v. 3, n. 1, p.10-17, jun, 2011.

AZEVEDO, F.A., CHASIN, A.A.M. **As Bases Toxicológicas da Ecotoxicologia**. Rima e Intertox, São Carlos e São Paulo, 2003.

BARRETO, M. J., THOMAZ JUNIOR, A. **Os impactos territoriais da monocultura da cana-de-açúcar no Pontal do Paranapanema – SP**. Revista Pegada, Presidente Prudente, v. 13, n. 2, p. 46-68, 2012.

BRUNINI, R. G., SILVA, M. C., PISSARA, T. C. T. **Efeito do Sistema de Produção de Cana-de-Açúcar na Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas**. Revista Agrarian, Dourados, n.36, v.10, p. 170-180, 2017.

CBH-PP – Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema. **Caracterização: características gerais da UGRH-22**. Presidente Prudente, 2018.



CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Águas Interiores - Publicações e Relatórios**. Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em 15/08/2018.

GAUCH, H. G. **Multivariate analysis in community ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 298, 1994.

JACKSON, D. **Stopping rules in principal component analysis: a comparison of euristical and statistical approaches**. Ecology, v. 74, p. 2204-2214, 1993.

KIANG, C.H., SOTO, M. A., BASSO, J. B. A cultura da cana-de-açúcar à luz da sustentabilidade. Capítulo 14. 1. ed. Canal 6, 2017, 275 p. Bauru, SP. E-book. ISBN 978-85-7917-421-6. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Organizadores: Carmem Silvia Fontanetti e Odair Correa Bueno, UNESP, Instituto de Biociências, Câmpus de Rio Claro. Disponível em <http://www.canal6.com.br/livros_loja/Ebook_Cana.pdf>. Acesso em 11/09/2018.

MATTHIENSEN, A. et al. **Monitoramento e Diagnóstico de Qualidade de Água Superficial**. Programa de Capacitação em Gestão da Água, Projeto TSGA – Tecnologias Sociais para a Gestão da Água. Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, SC, pp. 107-116, 2014.

PETTS, G. & FOSTER, I. **Rivers and landscape**. The Atheneum Press, 3 ed., New Castle, Great Britain, 1990

ROCHA, P. C., TOMMASELLI, J. T. G. **Variabilidade Hidrológica nas Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe, Região Oeste Paulista**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 10, p. 69-84, Ano 8, 2012.
TUNDISI, J. G. **Água no século XXI. Enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima Editora, 2003. 248p.

TUNDISI, J. G., MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R., CUSHING, C.E., **The river continuum concept**. Can. J. Fish. Aquat. Sci., vol.37. p. 130-137, 1980.

VAZHEMIN, I.G. **Chemical composition of natural waters in the VYG river basin in relation to the soil of Central Karelia**. Soviet Soil Science, Silver Spring, v.4, n.1, p.90-101, 1972.

WARD, J.V. **The Four Dimensional Natures of Lotic Ecosystems**. Journal of the North American Benthological Society, 8: 2-8, 1989.

WETZEL, R. G. **Limnology: lake and river ecosystems**. 3. ed. California: Academic Press, 2001.