Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Diagnóstico da qualidade das águas do córrego Sucuri (Caçu-Goiás)¹

Assunção Andrade de Barcelos¹; Fernanda Luiza Ramalho²; João Batista Pereira Cabral³; Wellmo dos Santos Alves⁴

1 Mestrando em Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia - Universidade Federal de Goiás/Regional Jataí, e-mail assuncaoa-barcelos@hotmail.com. 2 Mestranda em Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia - Universidade Federal de Goiás/Regional Jataí, e-mail ramalho_luisa@hotmail.com. 3 Professor Associado I da Universidade Federal de Goiás-Regional Jataí, pesquisador na área de Geociência com ênfase em Geografia Física e Geologia Ambiental. jbcabral2000@yahoo.com.br. 4 Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Goiás/REJ; Técnico em Agropecuária pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Rio Verde - GO (CEFET-RV). E-mail: wellmo.alves@ifgoiano.edu.br.

Artigo recebido em 21/12/2016 e aceito em 29/05/2017

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar e diagnosticar a qualidade das águas do córrego Sucuri, localizado no município de Caçu-Goiás. Para tanto, delimitou-se como área de estudo a bacia do córrego Sucuri, que está inserida na bacia do reservatório da Usina Hidrelétrica Barra dos Coqueiros. Foram definidos cinco pontos de amostragem no curso d'água e as coletas foram realizadas em quatro períodos distintos. Parâmetros analisados: potencial Hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), temperatura da água (T), condutividade elétrica (CE), total de sólidos dissolvidos (TSD), salinidade (NaCl), coliformes termotolerantes (CT) e fósforo total (P). A metodologia de análise da água seguiu a proposta do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e Resolução CONAMA (2005). De acordo com os dados avaliados, a não conformidade da água do córrego Sucuri para classe 1 é afetada pela CE, P e CT, sendo esse curso d'água classificado como de classes 2 e 3. Há correlações muito fortes entre os parâmetros TSD x NaCl = 0,9994, CE x NaCl = 0,9997 e CE x TSD = 0,9999 e estão relacionadas as características física e geológicas da bacia e tipos de solo.

Palavras chave: Bacia Hidrográfica, Limnologia, Resolução CONAMA 357/2005.

Diagnostic of the water quality of the stream Sucuri (Caçu-Goiás).

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze and to evaluate the water quality of Sucuri stream, located in the municipality of Caçu-Goiás. For this purpose, it was established Sucuri stream basin, which is located in the reservoir basin of Barra dos Coqueiros Hydroelectric Power Plant, which was delimited as the study area. It was determined five sampling points in the watercourse, and the collections were carried out in four different periods. The parameters that were studied are: (DBO), water temperature (T), electrical conductivity (CE), total dissolved solids (TSD), salinity (NaCl), thermotolerant coliforms (CT) and total phosphorus (P). The methodology of water analysis followed the proposal of the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater and Resolution CONAMA (2005). According to the data, the non-conformance of the water of the Sucuri stream to class 1 is affected by the CE, P and CT, being this watercourse classified as class 2 and 3. There are very strong that the correlations between the parameters TSD, CE And NaCl are related to the physical and geological characteristics of the basin and soil types.

Key words: Hydrographic Basin, Limnology, CONAMA Resolution 357/2005.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

Introdução

O monitoramento do ecossistema aquático pode ser considerado como uma ferramenta que fornece informações que contribuem para diagnosticar e verificar a qualidade das águas em bacias hidrográficas, possibilitando relacionar e identificar os principais impactos ambientais (urbanos e rurais) responsáveis pela degradação do meio ambiente.

Cerca de 12 % da água doce de todo o planeta encontram-se no Brasil e muitas pessoas consideram-na como um recurso natural renovável. Porém, o uso inadequado e o processo de antropização das bacias hidrográficas acabam por comprometer esse recurso, principalmente nas áreas mais densamente povoadas do país (SERPA, 2011).

Devido às alterações dos recursos hídricos provocadas pelo homem, principalmente em razão dos adensamentos populacionais e atividades agroindustriais, o seu gerenciamento faz-se necessário para orientar o poder público e a sociedade na tomada de decisões visando à sustentabilidade desse recurso natural (Vieira *et al.*, 2013).

Os córregos e rios são ecossistemas naturais de água que recebem influência da degradação causada, principalmente, pelas atividades humanas, associadas às atividades da densidade populacional. Esta demanda pode aumentar o volume de efluentes industriais domésticos, o acréscimo das áreas agrícolas, juntamente com a construção dos reservatórios das usinas hidrelétricas, que passam a promover perturbações e perdas de novas espécies (Roland *et al.*, 2012; Botelho, Froes e Santos 2012; Barreto *et al.*, (2014).

Ao avaliarmos a qualidade das águas a partir da gestão e monitoramento de corpos hídricos, podemos considerar que o marco inicial foi aprovação do decreto nº 24.643/1934, conhecido como Código das Águas ou Lei das Águas, aprovação da Política Nacional de Águas por meio da Lei nº 9.433/97, criação da Agência Nacional das Águas – ANA, com a Lei nº 9.984, de julho de 2000 e a Resolução CONAMA nº 357/2005, que permite realizar o enquadramento dos corpos hídricos e trouxe, como destaque, as inovações referentes à inclusão de novos parâmetros para a classificação da qualidade dos corpos de água (ANA, 2010; Viana *et al.*, 2013).

Para diagnosticar e interpretar a qualidade das águas, é necessária a utilização de métodos ou modelos que deem informações objetivas, interpretáveis e que considerem as características de uso da terra e cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica. Nesse aspecto, recomenda-se o uso da resolução CONAMA nº 357/2005, a partir do enquadramento dos cursos d'água e uma tentativa de acompanhar, por meio de informações limnológicas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo (Toledo e Nicollela, 2012; Rocha *et al.*, 2014; Rocha *et al.*, 2015).

Face aos processos antrópicos que ocorrem na bacia do rio Claro, segundo os estudos realizados por Barcelos *et al.* (2012), Nogueira *et al.* (2015) e Pereira *et al.* (2016) e considerando as preocupações ambientais, a presente pesquisa teve como objetivo analisar e diagnosticar a qualidade das águas do córrego Sucuri, no município de Caçu-Goiás.

Material e métodos

A bacia hidrográfica do córrego Sucuri (mapa 1) possui uma área de 74 km² e localiza-se no município de Caçu, no sudoeste do estado de Goiás.

O clima da área de estudo caracteriza-se por duas estações bem definidas, uma estação seca e outra chuvosa, e a precipitação média pluvial varia entre 1400 a 1600 mm. O período chuvoso inicia-se em outubro e estende-se até abril; no entanto, os meses de dezembro a março apresentam maiores níveis de precipitação. Os meses de maio a agosto são considerados período de estiagem (seco) e a temperatura média anual varia entre 22,0 a 23,0°C (Scopel, 2001; Novelis, 2005; Lima e Mariano, 2014).

O córrego Sucuri situa-se em região com intensas transformações nos padrões de uso da terra e cobertura vegetal, permanecendo vulnerável aos processos acelerados de poluição (pontual e difusa) e assoreamento. Como fator agravante, tem-se a contaminação da água por substâncias químicas provenientes, principalmente, da agricultura (milho e soja), pecuária e atividades sucroenergéticas, a partir do plantio da cana-de-açúcar para produção de etanol e açúcar.

Figura 1 - Bacia do córrego Sucuri no município de Caçu, Goiás. Fonte: SIEG (2016). Organizador: Santos (2016).

Para se compreender a distribuição espacial e temporal dos parâmetros limnológicos, foram definidos 5 pontos de amostragem no curso d'água do córrego Sucuri. Esses pontos de amostragem foram definidos de modo a abranger a influência dos diferentes modelos de uso terra.

As campanhas de coletas seguiram um intervalo de aproximadamente 90 dias, fazendo uma campanha de coleta a cada três meses, no período de junho de 2015 a março de 2016, correspondendo aos dias 12/06/2015, 11/09/2015, 05/12/2015 e 05/03/2016, de modo a abranger as quatro estações do ano.

As variáveis limnológicas avaliadas (Tabela 1) foram: potencial Hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes (CT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio (N), fósforo total (PT), temperatura (T), turbidez (TURB) e resíduos totais (RT).

Para leitura das amostras de água, utilizou-se sonda multiparâmetro Oakton, PCD650, Turbidímetro portátil HI 93703 (Hanna). Os parâmetros fósforo, DBO, nitrogênio, turbidez, TDS e coliformes termotolerantes foram analisados seguindo a descrição da Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA-1998).

As análises das águas e o enquadramento dos corpos d'água foram realizados segundo as condições e padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005.

Os parâmetros OD, pH e temperatura foram avaliados *in situ*, utilizando-se a sonda multiparâmetro OAKTON PCD 650.

Coefficiente de Correlação

Para avaliar o grau de relacionamento entre duas variáveis e descobrir com precisão o quanto uma variável interferiu no resultado da outra, foram gerados diagramas de dispersão de Pearson, conforme descrito em Callegari-Jacques (2008). Para as medidas de correlação linear, foram estabelecidos intervalos que variam de - 1 a + 1, adaptados por Santos (2007). Para analisar o grau de significância do coeficiente de correlação, utilizou-se o teste t de hipótese de Student; para os dados das quatro campanhas de coleta, adotou-se o nível de significância de 90%, com grau de liberdade 1. O menor valor será 2.132 da tabela dos valores críticos da distribuição t de Student.

Os padrões de qualidade e enquadramento dos corpos d'água foram definidos de acordo com a Resolução CONAMA n°357/2005, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros para enquadramento da água segundo CONAMA nº 357/2005.

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
(PH)	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Oxigênio Dissolvido	≥ 6 mg/L	$\leq 6 \geq 5$ mg/L	$\leq 5 \geq 4$ mg/L	$\leq 4 \geq 2$ mg/L
DBO _{5,20}	≤ 3 mg/L	$\geq 3 \leq 5$ mg/L	$\geq 5 \leq 10$ mg/L	>10mgL
Temperatura da água	Sem padrão	Sem padrão	Sem padrão	Sem padrão
Condutividade Elétrica	Sem padrão	Sem padrão	Sem padrão	Sem padrão
Total de sólido dissolvido	500 mg/L	500 mg/L	500 mg/L	>500mgL
Salinidade	500 mg/L	500 mg/L	500 mg/L	500 mg/L
Coliformes termotolerantes	≤ 200 NMP* (100) mL ⁻¹	≤ 1000 NMP* (100) mL ⁻¹	≤ 4000 NMP* (100) mL ⁻¹	≥ 4000 NMP* (100) mL ⁻¹
Fósforo total	0,1 mg/L	-	0,15 mg/L	-

Fonte: CONAMA 357/2005. NMP* (Não Mais que provável). Organizador: BARCELOS 2016

Resultados e discussão

Análise Temporal das Variáveis Limnológicas Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH representa o equilíbrio entre íons H⁺ e íons OH⁻, que variam entre 0 e 14. É um parâmetro que compõe as variáveis de portabilidade da água entre os valores de 6,0 e 9,5, destinada ao abastecimento ao público, de acordo com a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011; Buzelli; Santino, 2013). Do mesmo modo, para o enquadramento dos corpos hídricos, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, para as águas doces nas classes 1, 2, 3 e 4, o pH também varia de 6 e 9 (ANA, 2009).

De acordo com os dados apresentados no (Gráfico 1), o valor médio encontrado para o pH foi de 6,0 e 7,0, estando de acordo para o enquadramento dos corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2, 3 e 4, que deve variar entre 6 e 9.

O maior valor de pH foi 7,5 no segundo ponto da primeira campanha de coleta,

demonstrando que os valores entre 5,7 e 7,5 podem ser diretamente influenciados e relacionados com o balanço do carbono na água ou pelas taxas de fotossíntese do ecossistema, pois, quando essa se eleva, favorecida pelo enriquecimento da água por nitrogênio e fósforo, o pH da água tende a aumentar, ou seja, tornar-se mais alcalino em decorrência da diminuição das concentrações de gás carbônico na água (Wetzel, 2001; Brito, 2013; Buzelli e Santino, 2013).

No ponto um da terceira campanha de coleta foi detectado o menor valor de pH 5,7, indicando um ambiente mais ácido, possivelmente decorrente da decomposição da matéria orgânica vegetal presente nos sedimentos. Essa matéria orgânica gera ácidos húmicos e fúlvicos, os quais, por sua vez, puxa os valores de pH para baixo deixando a água mais ácida. (Esteves, 1988; Tundisi, 2008).

Figura 1 – pH das águas da bacia do Córrego Sucuri/Caçu GO. C = Campanha de coleta. — Faixa de enquadramento no CONAMA. Fonte: produção autor, 2016.

Oxigênio Dissolvido (OD)

A Resolução CONAMA nº 357/2005 determina, para a classe 1, que o Oxigênio Dissolvido não deve ser inferior a 6 mg/L, para classe 2, não inferior a 5mg/L, para a classe 3, não inferior a 4mg/L e, para a classe 4, não inferior a 2mg/L.

Nas campanhas de coleta, a concentração de oxigênio dissolvido (Gráfico 2), analisada *in situ*, variou de 5,5 a 8,1 mg/L. O menor valor de Oxigênio Dissolvido foi 5,5 mg/L, verificado no ponto 4 da terceira e quarta campanhas de coleta. O maior valor foi (8,1 mg/L), detectado no segundo ponto da primeira campanha. Com esses valores de oxigênio na 1ª e 2ª campanhas de coleta, essas águas podem ser consideradas como de classe 1, e as da 3ª e 4ª campanhas podem ser consideradas de classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Esses elevados valores de Oxigênio Dissolvido podem estar relacionados ao modelo de uso da terra da bacia que não recebe efluentes domésticos e industriais, fato distinto aos verificados por Kemerich, Silva e Reque (2013) nas águas do Arroio Esperança, no Rio Grande do Sul, devido à elevada concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas oriundas de esgotos urbanos.

A diminuição dos valores de OD no ponto quatro da 3ª e 4ª campanhas de coleta pode estar associada à entrada de material originado das áreas agrícolas, que contribui para o aumento na carga de material fosfatado e promove decréscimo na concentração de OD, fato esse destacado por Toledo e Nicolella (2012) em uma microbacia da cidade de Guairá (SP), sob uso agrícola e urbano.

Gráfico 2 - Oxigênio dissolvido das águas da bacia do Córrego Sucuri/Caçu GO. C = Campanha de coleta. CL = Classe de enquadramento. Fonte: Produção autor (2016).

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO é a quantidade de oxigênio indispensável para oxidação da matéria orgânica pela ação das bactérias aeróbias. Isso representa a quantidade de oxigênio indispensável às bactérias para degradar a matéria orgânica presente em um líquido (água ou esgoto) (VON SPERLING, 1998; CETESB, 2014).

A partir dos valores de DBO (Gráfico 3), as águas da bacia do córrego Sucuri podem ser classificadas nas classes 1, 2 e 3. Na primeira

campanha de coleta, período seco para a região, a água pode ser considerada de classe 1 no ponto 2. Nos outros pontos, a água foi considerada classes 2 e 3. O maior teor de DBO foi observado no ponto 1 da terceira campanha de coleta, próximo à nascente, local rico em matéria orgânica, que em decomposição dos compostos orgânicos por bactérias aeróbias, têm contribuído para redução do oxigênio dissolvido e a degradação da qualidade da água.

Gráfico 3 - Demanda bioquímica de oxigênio das águas da bacia do córrego Sucuri/Caçu GO. C = Campanha de coleta. CL = Classe de enquadramento. Fonte: Produção do autor 2016.

Os valores médios de DBO oscilaram entre 1,0 e 5,6 mg/L, podendo ser considerados baixos quando comparados aos trabalhos desenvolvido por Siqueira, Aprile e Miguéis (2012) no rio Parauapebas-Pará, Neves et al.

(2015) no rio Bacacheri-Paraná, que detectaram valores acima de 5 mg/L devido à decomposição da matéria orgânica e influência do lançamento de esgoto no curso d'água. Em microbacia com pastagem, segundo relatos de Menezes et al.

(2009), os altos valores de DBO encontrados no período seco podem estar associados à contaminação por excrementos dos animais.

Temperatura (T)

Os corpos d'água apresentam variação térmica de temperatura durante o dia, à noite e nas estações do ano. Outro fator que interfere na temperatura da água é a emissão de efluentes com alta temperatura. Os parâmetros físico-químicos sofrem influência direta da temperatura, causando impactos sobre o crescimento e reprodução de organismos aquáticos (ANA, 2010).

O menor valor da temperatura da água nas quatro campanhas foi 20,1°C no ponto 5 da primeira campanha de coleta; o maior valor foi de 25,7°C, no ponto 1 da terceira campanha de coleta. A média foi de 23,5°C (Gráfico 4). As flutuações diárias de temperatura da água entre os pontos de amostragem podem ser explicadas em função das estações do ano, horário de leitura e temperatura do ambiente. Sabe-se que no período

da manhã há uma menor incidência de radiação solar que no período da tarde.

Outra explicação para oscilações de temperatura da água deve-se à pouca quantidade de mata ciliar e à exposição da água aos raios solares, fato esse também constatado por Souza (2014) no Rio Almada, no Sul da Bahia, que detectou temperatura no mês de abril entre 25,6°C a 28,6°C, período esse em que a precipitação foi bem reduzida e verificado por Rocha, Cabral e Braga (2014) nos afluentes do reservatório da Usina Hidrelétrica Barra dos Coqueiros (Goiás), que variaram entre 19,7°C e 28,5°C, sendo que as leituras amostradas no período de estiagem (maio a setembro) tiveram os menores valores em relação aos dados do período úmido (outubro a abril). Estudos realizados por Barcelos *et al.* (2012) nos afluentes da bacia do lago da UHE Caçu, que se localiza à montante da UHE Barra dos Coqueiros, na mesma bacia do Rio Claro, detectaram que a temperatura da água variou entre 21,3 a 23,1°C (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Temperatura das águas da bacia do córrego Sucuri/Caçu GO. C = Campanha de coleta. CONAMA: Sem padrão*. Fonte: produção do autor 2016.

Condutividade Elétrica (CE)

Para Tundisi e Matsumura Tundisi (2008), a condutividade elétrica indica a quantidade e concentração de sais, ácidos e bases em águas naturais e pode ser utilizada como parâmetro de qualidade da água, além de fornecer informações sobre a capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica. Esse parâmetro é capaz de fornecer indicações na composição da água, principalmente no que se refere à concentração de minerais.

De acordo com os dados obtidos em campo, nas duas primeiras campanhas de coleta, junho e setembro de 2015 (período de baixa precipitação-seco para região), a condutividade elétrica (Gráfico 5) ficou entre 120 e 135 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Na terceira e quarta campanhas, realizadas nos meses de dezembro e março (período considerado chuvoso para a região), houve um decréscimo desses valores, ficando entre 87 e 93 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sendo assim, a precipitação na bacia contribuiu para melhorar a qualidade da água do córrego Sucuri.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não define valores para condutividade elétrica da água. Os valores de condutividade elétrica nas duas primeiras campanhas (120 e 135 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período seco) demonstram que as águas da bacia do córrego Sucuri podem ser consideradas impactadas por ações antrópicas, pois valores elevados de CE podem indicar característica de águas corrosivas, e segundo a CETESB (2008, 2009), a partir de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a água está impactada.

Para Coluna (2007), valores inferiores a 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ são considerados de baixa

condutividade, de 50 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ considerados de média condutividade e acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de alta condutividade. Nas duas últimas campanhas de coleta, detectaram-se valores entre 87 e 93 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (período úmido); essas águas podem ser consideradas de média condutividade, indicando que essa região é formada por rochas não resistentes ao intemperismo. No caso da bacia em estudo, os altos valores de CE podem estar relacionados aos fatores litológicos. A maior precipitação na bacia contribuiu para diminuição da concentração da Condutividade Elétrica.

Gráfico 5 - Condutividade elétrica das águas da bacia do córrego Sucuri, Caçu-GO. C = Campanha de coleta. CL = Classe de enquadramento. Fonte: Produção do autor 2016.

Total de Sólidos dissolvidos (TSD) e Salinidade (NaCl)

O total de sólidos dissolvidos (TSD) compreende todos os sais presentes na água e os elementos não iônicos, proporcionalmente ao teor de carbono dissolvido. Nas águas naturais, a enorme quantidade de substância dissolvidas na água são causadas pelas propriedades geoquímicas do solo e das rochas que compõem o substrato das bacias hidrográficas que escoam para rios e lagos (Tundisi; Matsumura e Tundisi, 2008).

Para a Resolução CONAMA nº 357/2005, o total de sólidos dissolvidos e salinidade nas águas não devem ultrapassar a 500mg/L. Na bacia do córrego Sucuri, o maior valor de TSD (Gráfico 6) foi de 67,6 mg/L e NaCl (gráfico 7) foi de 67,3 mg/L, sendo detectado no ponto 3 de todas as campanhas de coleta, enquanto que os menores valores foram detectados no primeiro ponto da primeira

campanha de coleta (TDS 8,7 mg/L e NaCl 15,2 mg/L) de amostragem.

A maior concentração desse parâmetro pode estar relacionada com a geologia do local, com a serra da Gabiroba, composta pela formação Marília e ao tipo de solos Cambissolos Háplico Distróficos e ao uso da terra pela pecuária extensiva.

Os resultados das medidas de TDS estão em concordância com os resultados obtidos para a CE e NaCl, que se relacionam diretamente com a concentração de íons dissolvidos em solução aquosa. Fato esse também constatado nos trabalhos desenvolvidos por Basso, Moreira e Pizzato (2011), no Arroio Dilúvio, em Porto Alegre - RS, bem como de Rocha, Cabral e Braga (2014) para os afluentes da UHE Barra dos Coqueiros, que constataram que as concentrações de TSD diminuem devido às chuvas, que têm efeito diluidor para o TSD e NaCl, ou seja, com o aumento da vazão, há redução na concentração de TSD e NaCl.

Gráfico 6 - Total de sólidos dissolvidos das águas da bacia do córrego Sucuri/Caçu GO. C = Campanha de coleta. CONAMA 357/2005, *Limite até 500mg/L. Fonte: produção do autor, 2016.

Gráfico 7 – Salinidade das águas da bacia do córrego Sucuri/Caçu GO. C – Campanha de coleta. CONAMA 357/2005 *Limite até 500mg/L. Fonte: produção do autor, 2016.

Fósforo

A Resolução CONAMA nº 357/05 determina que os valores do fósforo para ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários, para a classe 1, devem ser menores ou iguais a 0,1 mg/L para ambientes lóticos e tributários de ambiente intermediário, para a classe 2, são valores que estão acima de 0,1mg/L e menores que 0,15 mg/L, para a classe 3 são valores acima de 0,15mg/L.

Na primeira e terceiras campanhas de coleta de água na bacia do córrego Sucuri, no ponto três o aparelho não detectou valor para o

fósforo. No entanto, o maior valor detectado de fósforo foi no ponto dois da quarta campanha de coleta, com 2,14 mg/L (Gráfico 8). Esse valor elevado de fósforo pode estar relacionado à maior precipitação durante o período chuvoso na bacia.

Contrariando os dados desta pesquisa, trabalhos realizados por Santi *et al.* (2012) na sub-bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco, em Rio Branco no Acre, o fósforo apresentou baixa concentração segundo Resolução CONAMA nº 357/2000, nos dois períodos, seco e chuvoso, de 2012. Confirmando os resultados desta pesquisa, estudos realizados por

BEZERRA, BECKER E MATTOS (2011) em reservatórios do Seminário Brasileiro detectaram que a carga de fósforo aumentou no período seco,

principalmente pela evapotranspiração; no início das primeiras chuvas houve uma diminuição da concentração de fósforo.

Gráfico 8 – Fósforo das águas da bacia do córrego Sucuri/Çaçu GO. C – Campanha de coleta. CL = Classe de enquadramento. Fonte: produção do autor, 2016.

Parâmetros Biológicos

Coliformes termotolerantes

Os Coliformes termotolerantes são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver, na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose em produção de ácidos, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,50$ C em 24-48 horas e que podem apresentar atividade de enzima β – galactosidase. Grande parte das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, entre outros gêneros que pertencem a esse grupo (BRASIL, 2013).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 determina valores máximos de coliformes termotolerantes para as classes de água doce. Para a classe 1, não deve ultrapassar a 200 (NMP Não Mais que Provável); classe 2, até 1000 (NMP); para classe 3, pode chegar até 2500 (NMP); para os demais usos, não ultrapassar a 4000 (NMP).

Após as quatro campanhas de coleta na bacia do Córrego Sucuri, o menor valor encontrado de coliformes termotolerantes foi 110 (NMP), no ponto 3 da primeira campanha de coleta (Gráfico 9), local mais preservado, próximo à nascente. O maior valor encontrado foi no primeiro ponto, com 484 (NMP), na segunda campanha de coleta, localizado às margens do Assentamento Santa Lúcia, onde a economia é voltada para gado de leite. Nos últimos sete dias que antecederam as coletas, apresentou 56,02mm de chuva, podendo ter contribuído com o escoamento superficial de sedimentos para o curso d'água.

A qualidade das águas na bacia do córrego Sucuri pode ser classificada de classe 1 apenas na primeira campanha, pois os resultados ficaram abaixo de 200 (NMP), menos no ponto 5, em que os valores estão acima de 200 (NMP) coliformes por litro. Nas outras campanhas de coletas, os valores de coliformes termotolerantes estão acima de 200 (NMP) de coliformes, sendo classificadas como classe 2.

Gráfico 9 – coliforme termotolerantes das águas da bacia do córrego Sucuri/Caçu-GO. C = Campanha de coleta. CL = Classe de enquadramento. *Limites 2500 CL 3 e ≥ 4000 CL 4. Fonte: produção do autor, 2016.

Análises Estatísticas

A utilização da análise de Correlação de Pearson permitiu identificar a relação entre os parâmetros de qualidade de água e estabelecer as melhores variáveis de correlação. Na análise apresentada (Tabela 2), foram discutidos somente os gráficos que foram classificados entre forte e perfeita com nível de significância acima de

90%. Na tabela apresentada abaixo foram discutidos somente os gráficos que apresentaram maiores coeficientes de determinação das variáveis físico-química e biológicas. Porém, nem todas as correlações foram apresentadas em gráficos.

Tabela 2 - Classificação quali/quantitativas das correlações entre as variáveis analisadas para as quatro campanhas de coleta.

Variáveis correlacionadas	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4
pH x OD	0,1686	0,4042	0,7040	0,5997
pH x DBO	0,5795	0,0030	-0,7172	0,5044
pH x T	0,1485	0,7049	-0,5209	-0,2884
pH x CE	0,5795	0,3523	0,5642	0,4590
pH x TSD	0,5533	0,3532	0,5576	0,4587
pH x NaCl	0,5142	0,3405	0,5395	0,4528
pH x CT	-0,2148	-0,9108	-0,5458	-0,7950
OD x DBO	0,7899	0,3783	-0,3303	-0,1344
OD x T	0,3193	0,1943	-0,5785	-0,1487
OD x CE	-0,6337	-0,0102	0,2250	-0,3253
OD x TSD	-0,6452	-0,0100	0,2189	-0,3259
OD x NaCl	-0,6789	-0,0223	0,2088	-0,3489
OD x CT	0,294	-0,3702	0,1142	-0,1608
DBO x T	-0,0067	0,4084	0,6768	-0,3730
DBO x CE	-0,0527	-0,8784	-0,3897	0,3160
DBO x TSD	-0,0633	-0,8779	-0,3876	0,3155
DBO x NaCl	-0,1044	-0,8779	-0,3570	0,3307
DBO x CT	0,0649	0,3336	0,8621	-0,5729
T x CE	-0,3082	-0,0527	-0,5876	-0,0865

T x TSD	-0,3219	-0,0514	-0,5880	-0,0786
T x NaCl	-0,3418	-0,0498	-0,5703	-0,0731
T x CT	-0,3910	-0,3683	0,3306	-0,1984
CE x TSD	0,9992	0,9999	0,9999	0,9999
CE x NaCl	0,9969	0,9997	0,9993	0,9995
CE x CT	-0,5042	-0,6067	-0,4141	-0,6408
TSD x NaCl	0,9988	0,9997	0,9994	0,9997
TSD x CT	-0,5178	-0,6072	-0,4133	-0,6447
NaCl x CT	-0,5122	-0,5918	-0,3890	-0,6493
P x T	0,3082	0,1986	0,5407	0,085
P x OD	-0,0223	0,6656	-0,064	0,9926
P x DBO	-0,3492	0,9113	-0,1577	-0,1215
P x TUB	0,2735	-0,7938	-0,1612	-0,1693

Correlação fraca
 Correlação regular
 Correlação forte
 Correlação muito forte

Fonte: BARCELOS, 2016.

Entre os parâmetros de pH x CT, verifica-se que houve uma correlação forte negativa, na segunda e quarta campanhas de coleta, isto é, quando há uma diminuição do coliforme, há uma tendência de neutralidade do pH, apresentando uma correlação negativa significativa acima de 90%.

Houve uma correlação forte positiva entre os parâmetros OD x DBO (Gráfico 10) na primeira campanha de coleta. Sendo significativa em mais de 90%, isto demonstra que com o

aumento da DBO, necessariamente, há um aumento do OD para oxidar a matéria orgânica.

Na segunda campanha de coleta no mês de setembro, observa-se uma correlação forte negativa entre os parâmetros de TUR x P, (Gráfico 11) demonstrando que o coeficiente linear indicou que 90% ajustado na linha do diagrama de dispersão, a diminuição do fósforo não está relacionada com o aumento da turbidez, uma vez que o fósforo pode aumentar durante o período

Gráfico 10 – correlação de Pearson (OD mg/L x DBO mg/L) mês de junho 2015. Fonte: BARCELOS, 2016.

de estiagem. Contrariando esse estudo, SILVA E NETO (2014) encontraram valores acima do estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2005, valores que variaram entre 0,097 a

1,779 mg/L, o que pode ser explicado pela descarga de efluentes industriais e domésticos nas águas do Riacho Mussuré e no Córrego Mumbaba-João Pessoa-PB.

Gráfico 11 – Correlação de Pearson (TUR mg/L x P mg/L) mês de junho 2015. Fonte: BARCELOS, 2016

O DBO apresentou correlação forte negativa na segunda campanha de coleta com os seguintes parâmetros: CE; TSD e NaCl (Tabela 2). Essas correlações podem ser reflexo da litologia da bacia, que possui rochas basálticas da Formação Serra Geral e Formação Vale do Rio do Peixe, resultando em águas ricas em carbonatos de cálcio (CaCO_3) ou carbonato de magnésio (MgCO_3), que aumentam a condutividade elétrica após a dissolução dos minerais, pelo uso e ocupação da bacia, pela pecuária e cana-de-açúcar conforme estudos realizados por Rocha, Cabral e Braga (2014) na bacia do Rio Claro – Goiás, visto que a aplicação

de fertilizantes passa a contaminar as águas superficiais, principalmente na diluição dos sais no período chuvoso e contaminação por excrementos dos animais, conforme relatado por Menezes et al. (2009) e Bertossi et al. (2013) para bacias hidrográficas de uso agropastoril.

Na segunda campanha de coleta, no mês de setembro, houve correlação forte entre os parâmetros (P x DBO) (Gráfico 12), por outro lado, a correlação entre (DBO x CE, TSD e NaCl) apresentou uma resposta contrária ao (P x DBO), com o aumento do fósforo, há um aumento da quantidade de bactérias para consumir matéria orgânica.

Gráfico 12 – Correlação de Pearson (P mg/L x DBO mg/L) mês de setembro 2015. Fonte: BARCELOS, 2016.

Houve uma correlação forte positiva entre DBO x CT (Tabela 2) na terceira campanha de coleta, sendo significativa acima de 90%, demonstrando que, quando há um aumento dos coliformes termotolerantes, há um aumento da DBO.

Para Tundisi e Matsumura Tundisi (2008), o TSD inclui sais presentes na água e componentes não iônicos que apresentam uma correlação positiva com a condutividade elétrica e salinidade. Isto se deve aos níveis de solubilidade de sais e outros compostos encontrados nas águas da bacia do córrego Sucuri

devido às suas características físicas e modelo de uso e ocupação da terra.

A variável CE apresentou uma correlação muito forte com os parâmetros NaCl e TDS (Tabela 2 e gráfico 13 e 14) em todas as quatro campanhas de coletas, indicando uma correlação acima de 99%. Houve um ajustamento na linha de tendência nos gráficos, com o aumento na concentração de íons na água, refletindo diretamente nas outras variáveis, o que indica que quando há um aumento da CE há um aumento na mesma proporcionalidade para NaCl e TSD.

Gráfico 13 - Correlação de Pearson entre (CE x NaCl) mês de setembro 2015. Fonte: BARCELOS, 2016.

Gráfico 14 - Correlação de Pearson entre (TSD x CE) mês de dezembro 2015. Fonte: BARCELOS, 2016.

O P x OD (Gráfico 15) apresentou uma correlação muito forte positiva na quarta campanha de coleta, período considerado úmido (precipitação) para região. O fósforo é essencial

às plantas; seu aumento provoca aparecimento de algas ou eutrofização, que podem comprometer o abastecimento ao público, com aumento de odores e sabores na água. Sendo assim, o

aumento de sólidos em suspensão contribui com

o aumento da demanda de oxigênio na água.

Gráfico 15 - Correlação de Pearson (P x OD) mês de dezembro 2015. Fonte: BARCELOS, 2016.

Esse aumento de nutrientes na água também ocasionou, na segunda campanha, uma correlação forte positiva de P x TUB, devido à ocorrência de precipitação de 135 mm de chuva, ocorridos nos sete dias antes da campanha de coleta.

Conclusão

Quanto às características físicas da bacia, uso e ocupação da terra, a bacia do córrego Sucuri pode ser considerada pecuária e agrícola. Com as análises espacial e temporal de alguns parâmetros físico-químicos e biológicos, a utilização da correlação de Pearson pode diagnosticar e classificar os padrões de qualidade da água do córrego Sucuri.

Dentre os parâmetros avaliados, os que mais contribuíram com os impactos na qualidade da água foram Condutividade Elétrica, Fósforo e Coliformes Termotolerantes, sendo as águas enquadradas nas classes 2 e 3 da Resolução CONAMA.

Os parâmetros CE, NaCl e TDS apresentaram correlação Muito Forte, demonstrando que um parâmetro interfere diretamente no outro, pela presença de íons presentes na água, possivelmente pela dissolução ou interperização das rochas e atividades antrópicas na bacia.

Por fim, os resultados demonstraram que o fósforo foi o parâmetro que apresentou resultados mais elevados, que mais contribui com a qualidade da água, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, fazendo-se necessário realizar estudos sobre metais pesados nas águas

da bacia do córrego Sucuri, uma vez que o principal uso e ocupação da bacia é a pecuária e o plantio de cana-de-açúcar para produção de etanol.

Agradecimentos

FAPEG-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás. Processo 201110267000114. CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. PROCESSO 564525/2010-3.

Agradecemos em à UFG/Regional Jataí pela cooperação no transporte para as campanhas de coleta de dados e o Laboratório de Geociências Aplicada por fornecer materiais e espaço para o desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- APHA. American Public Health Association, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington.
- ANA. Agência Nacional das Águas, 2010. Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Brasília.
- Barcelos, A. A., Braga, C. C., Cabral, J. B. P Rocha, I. R., 2012. Caracterizações físicas e químicas das águas dos afluentes da UHE Caçu. Revista Geonorte, [online] Disponível: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/viewFile/1983/1857>> Acesso 15 jul. 2016.
- Barreto, L. V. Fraga, M. S. Barros, F. M. Rocha, F. A. Amorim, J. S. Carvalho, S. R. Bonomo, P Silva, D. P, 2014. Relação entre vazão e

- qualidade da água em uma seção de rio. *Ambiente & Água*, 118-129.
- Basso, L.A.; Moreira, L. G. R.; Pizzato, F. A., 2011. Influência da precipitação na concentração e carga de sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do arroio Dilúvio, Porto Alegre-RS. *Geosul* 26, 145-163.
- Bertossi, A. P. A.; Menezes, J. P. C.; Cecílio, R. A.; Garcia, G. O.; Neves, M. A., 2013. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. *Semina: Ciências Agrárias* 34, 2025-2036.
- Bezerra, A. F. M.; Becker, V.; Mattos, A., 2014. Balanço de Massa de Fósforo Total e o Estado Trófico em Reservatórios do Semiárido Brasileiro. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 19, 67-76.
- Botelho, R. G.; Fros, C. M.; Santos, J. B., 2012. Toxicity of herbicides on *Escherichia coli* growth. *Brazilian Journal of Biology* 72, 141-146.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde, 2013. Manual prático de análise de água. Brasília.
- Buzelli, G. M., Cunha-Santinho, M. B., 2013. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. *Revista Ambiente & Água* 8.
- Callegari-Jacques, Sintia M., 2008. Bioestatística: princípios e aplicações. Artmed, Porto Alegre.
- Coluna, N. M., 2007. Análise temporal e espacial da qualidade da água na bacia hidrográfica do Zereze. *Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico*, 207-214.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2014. Índices de qualidade das águas. São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidadedas-%C3%A1guas> Acesso em: 18 jun. 2015.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2009. Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf> Acesso em: 04 dez. 2016.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2009. Variáveis de qualidade de água. São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/rios/variaveis.asp#transparencia> Acesso em: 19 jan. 2016.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005. Resolução Normativa nº 357, de 17 de março de 2005.
- Esteves, F. A., 1998. Fundamentos de limnologia, 2 ed. Interciência: Rio de Janeiro.
- Kemerich, P. D. C.; Silva, R. F.; Reque, P. T., 2013. Determinação do índice de qualidade da água do arroio esperança. *Ciência e Natura*, 83-98.
- Menezes, J. M.; Prado, R. B.; Silva Júnior, G. C.; Mansur, K. L.; Oliveira, E. S., 2009. Qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do rio São Domingos-RJ. *Engenharia Agrícola* 29, 687-698.
- Neves, F. M. C.; Castro, F. B. G.; Godefroid, R. S.; Santos, V. L. P., 2015. Avaliação da qualidade da água do rio Bacacheri, Curitiba/PR. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade* 8, 81-98.
- Nogueira, P. N.; Cabral, J. B. P.; Oliveira, S. O.; Rocha, R. I., 2015. Eutrofização no reservatório da UHE foz do Rio Claro (GO). *Revista do Departamento de Geografia – USP* 30, 19-33.
- Oliveira, S. O.; Rocha, R. I., 2015. Eutrofização no reservatório da UHE foz do Rio Claro (GO). *Revista do Departamento de Geografia – USP* 30, 19-33.
- Novelis, 2005. EIA/RIMA UHEs Caçu e Barra dos Coqueiros.
- Pereira, C. C.; Mariano, Z. F.; Wachholz, F.; Cabral, J. B. P., 2016. Avaliação da temperatura de superfície continental (TSC) e o uso da terra na bacia da usina hidrelétrica de barra dos coqueiros (GO), por meio do sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Climatologia* 18.
- Rocha, H. M.; Cabral, J. B. P.; Braga, C. C., 2014. Avaliação Espaço-Temporal das Águas dos Afluentes do Reservatório da UHE Barra dos Coqueiros/Goiás. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 19, 131-142.
- Rocha, R. I.; Cabral, J. B. P.; Nogueira, F. P.; Barcelos, A. A., 2015. Avaliação sazonal das águas do reservatório da usina hidrelétrica Caçu no município de Caçu, Goiás. *Revista do Departamento de Geografia – USP* 29, 137-160.

- Roland, F., 2012. Climate change in Brazil: perspective on the biogeochemistry of inland waters. *Brazilian Journal of Biology* 27, 709-722.
- Santi, G. M.; Furtado, C. M.; Menezes, R. S.; Keppeler, E. C., 2012. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. *Ecologia Aplicada* 11, 23-31.
- Santos, C., 2007. Estatística Descritiva: Manual de Autoaprendizagem. Sílabo, Lisboa.
- Serpa, F. de C., 2011. Águas do Brasil. *National Geographic Brasil* 133, 53-66.
- Silva, M. L. P., Neto, J. D., 2014. Avaliação preliminar da presença de metais traço, nas águas do Riacho Mussuré e o córrego de Mumbaba-João Pessoa-PB. *Revista Brasileira de Geografia Física* 07, 668-677.
- Siqueira, G. W., Aprile, F., Miguéis, A. M., 2012. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará -Brasil). *Acta Amazônica* 42, 413-322.
- Souza, J. R et al., 2014. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. REDE - Revista Eletrônica do Prodepa Journal [online]. Disponível: <http://www.revistarede.ufc.br>. Acesso: 14 jun. 2015.
- Toledo, L. G.; Nicolella G., 2002. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agrícola* 59, 181-186.
- Tundisi, J. G.; Matsumura Tundisi, T., 2008. *Limnologia*. Oficina de Textos, São Paulo.
- Viana, L. G.; Dias, D. F. S.; Oliveira, V. P. S.; Moreira, M. A. C., 2013. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego 7, 199-219.
- Vieira, A. R; Movais, J. M; pontes, L; Marinho, L. L. E.; Paiva. M. C.; Piffer, V.; Vieira, V. R.; Andrade, N. L. R., 2013. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego 7, 11-17.
- Von Sperling, M., 1998. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG), Belo Horizonte.
- Wetzel, R. G., 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3 ed. Academic Press, San Diego.