

Article

# Análise dos Parâmetros Limnológicos de um Rio Inserido em uma Paisagem Antropizada

Erica Zanardo Oliveira <sup>1</sup> \* , Fabio Leandro Silva <sup>2</sup> , Marcela Bianchessi da Cunha-Santino <sup>3</sup> , Irineu Bianchini Júnior <sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Doutoranda em Ecologia e Recursos Naturais (Universidade Federal de São Carlos); ORCID: 0000-0002-9264-8570; E-mail: erica.zanardo@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Ecologia e Recursos Naturais (Universidade Federal de São Carlos); ORCID: 0000-0001-6002-9030; E-mail: fabioleandro@alumni.usp.br

<sup>3</sup> Professora Associada (Universidade Federal de São Carlos); ORCID: 0000-0001-6048-0745; E-mail: cunha\_santino@ufscar.br

<sup>4</sup> Professor Titular (Universidade Federal de São Carlos); ORCID: 0000-0002-9121-3794; E-mail: irineu@ufscar.br

\*Correspondence: Laboratório de Bioensaios e Modelagem Matemática (UFSCar), +55 16 3351-8383

## ABSTRACT

The water quality depends on the interaction between natural phenomena and anthropogenic activities that occur in the watershed. The Cerrado is the second largest biome in Brazil and is responsible for 43% of the surface water outside the Amazon, however, the biome has been converted into other land uses, a situation that has led to changes in water quality and negatively affected society. In this sense, monitoring the environment and the adoption of environmental reference parameters allow the water bodies classification and the promotion of multiple uses of water. Therefore, starting from the questioning about the anthropic interference in the limnological parameters in the Jacaré-Guaçu watershed, we attempted to test hypotheses about the variation between the limnological variables in relation to river course, dry and full seasons and between the years of 2015 and 2016. For this purpose, the data of 15 limnological variables, provided by the Environmental Company of São Paulo State (CETESB) were used. The use of the Pareto Diagram (MASP) and statistical analysis showed the existence of non-conformities of some limnological variables, changes in the longitudinal gradient of the Jacaré-Guaçu river and strong influence of seasonality.

**Keywords:** applied limnology; guidelines; aquatic ecosystem; fresh water; cerrado.

## RESUMO

A qualidade da água depende da interação entre os processos naturais e as atividades antrópicas que ocorrem na bacia hidrográfica. O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil; sendo responsável por abranger ca. 43% da água superficial fora da Amazônia; todavia, esse bioma tem sido convertido em outros usos da terra, alterando a qualidade da água e afetado negativamente os usos desse recurso pela sociedade. Neste sentido, o monitoramento ambiental e a adoção de parâmetros ambientais de referência permitem a classificação de corpos hídricos e a promoção dos usos múltiplos da água. Sendo assim, partindo do questionamento sobre a interferência antrópica nas variáveis limnológicas na bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu, buscou-se testar hipóteses sobre a modificações entre as variáveis em relação aos cursos do rio, às estações hidrológicas (seca e cheia) e entre 2015 e 2016. Para tal, foram utilizados os dados de 15 variáveis limnológicas disponibilizadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). O emprego do Diagrama de



Submissão: 13/11/2018



Aceite: 23/04/2021



Publicação: 29/04/2022



Pareto e de análises estatísticas mostraram a existência de não conformidades de algumas variáveis limnológicas, alterações no gradiente longitudinal do rio Jacaré-Guaçu com forte influência da sazonalidade.

**Palavras-chave:** limnologia aplicada; *Guidelines*; ecossistema aquático; águas interiores; cerrado.

## 1. Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil (23% do território), todavia, é marcado pela conversão de sua vegetação nativa em outros usos da terra (e.g. pastagens, agricultura), visto que quase 46% da sua área original já foi convertida (Mapbiomas, 2020). Outrossim, o Cerrado contribui com 43% da água superficial do Brasil fora da Amazônia, porém a taxa elevada de conversão e a flexibilização instituída pela Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei Federal 12.651/12) podem potencializar a conversão de áreas para o crescimento do agronegócio, trazendo riscos para a vegetação que se mantém sem distúrbios (19,8%) e para os corpos hídricos (Strassburg et al., 2017).

A integridade ambiental acaba sendo prejudicada com a remoção da vegetação nativa, provocando alterações nos ambientes aquáticos, visto as alterações diretas na hidroquímica e na entrada de substâncias/compostos nos corpos hídricos, bem como a redução da área ocupada pelos ecossistemas aquáticos (Nóbrega et al., 2017, Calvão et al., 2018, Cunha et al., 2020), implicando diretamente na perda dos benefícios proporcionados pelos sistemas naturais à sociedade (i.e. serviços ecossistêmicos).

Os ambientes aquáticos inseridos no Cerrado apresentam uma forte influência do gradiente longitudinal e da sazonalidade (relacionada principalmente ao volume de precipitação), fatores que afetam as variáveis físico-químicas e na qualidade da água, visto as pressões exercidas pelos usos e cobertura da terra (Alves et al., 2019, Veras et al., 2019, Silva et al., 2020). Ademais, o monitoramento dos ambientes aquáticos inseridos em bacias hidrográficas que drenam o Cerrado possibilita evidenciar variações na qualidade da água e as alterações dos parâmetros limnológicos em função dos diferentes usos e cobertura da terra, em função do desmatamento e degradação da vegetação marginal, configurando informações úteis para o planejamento e verificação do atendimento de mecanismos normativos que trazem valores de referência (Zeilhofer et al., 2016, Zeilhofer et al., 2018).

Tal cenário tende a acarretar em condições adversas para a qualidade da água e reduz a gama de serviços ecossistêmicos prestados pelos sistemas aquáticos, podendo ocasionar prejuízos para o consumo doméstico, manutenção da biodiversidade, geração de conflitos locais e afeta o consumo de água destinado ao agronegócio (Resende et al., 2020). Logo, torna-se necessário a implementação de políticas públicas que visem promover a melhoria e evitar eventuais agravos do cenário encontrado. Porém, em bacias hidrográficas onde se observa a recuperação das áreas de vegetação nativa, as alterações limnológicas ocorrem da mesma forma?

O Brasil instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) através da Lei n 9.433/1997. Dentre os objetivos estabelecidos merecem destaque a garantia da qualidade da água adequada aos mais diversos usos, a sua utilização racional e a gestão integrada desses recursos no território brasileiro, assim como a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento (Brasil, 1997). Sob a luz da Política Nacional de Recursos Hídricos e influenciado pela legislação do Estado de São Paulo, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) formulou e implementou a Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005). Este dispositivo realiza o enquadramento dos corpos hídricos brasileiros mediante a sua finalidade de uso e estabelece valores de referência para as variáveis limnológicas, para fins de monitoramento e manutenção da qualidade dos ambientes aquáticos.

Torna-se imprescindível o emprego de métodos que permitam a avaliação da integridade dos ecossistemas aquáticos, situação que fornece bases para a promoção de um gerenciamento ambiental adequado desses sistemas e, possibilita, a verificação da implementação das políticas públicas ambientais vigentes. Dessa forma, a realização de estudos e monitoramento das variáveis limnológicas favorece o aumento do conhecimento, incluindo os principais agentes estressores responsáveis pelas alterações de suas propriedades físico-químicas e eventuais não conformidades com os valores adotados como referência.

Para melhor compreender os processos que ocorrem nos corpos hídricos, o conceito de “bacia hidrográfica” (i.e. unidade biogeofisiográfica que drena para um rio, um lago, uma represa ou um oceano) deve ser aplicado em sua gestão, já que permite ir além das fronteiras políticas (e.g. limites municipais, administração local), permitindo uma integração multidisciplinar dos diferentes sistemas de gerenciamento, estudos interdisciplinares e atividades ambientais (Tundisi et al., 2008; Tundisi et al., 2010).



Nesse contexto, a partir do questionamento quanto à interferência antrópica sobre os parâmetros limnológicos de um ambiente lótico em função das atividades humanas desenvolvidas em sua área de drenagem, este artigo teve como objetivo conduzir um estudo em uma bacia hidrográfica antropizada que passa por um processo de recuperação (Costa et al., 2017), inserida uma área de Cerrado, para testar às seguintes hipóteses: (i) não existam variações entre as variáveis limnológicas em relação ao curso do rio (i.e. alto, médio e baixo); (ii) acredita-se que existam variações entre as variáveis limnológicas em relação às estações (i.e. seca e cheia); (iii) não existem diferenças significativas entre as variáveis limnológicas entre 2015 e 2016 e (iv) nos casos de não conformidades com os valores limnológicos de referência, estas se associam com a interferência antrópica.

## Materiais e Métodos

### Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu está inserida na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Tietê-Jacaré (UGRHI 13) (Figura 1), que possui uma área drenagem de aproximadamente 4.108 km<sup>2</sup> (Tanaka et al., 2015), sendo um rio de 5ª ordem de acordo com o método de Strahler (1952). As suas nascentes estão inseridas nos municípios de Analândia, Brotas, Itirapina e São Carlos, sendo sua foz na represa de Ibitinga, no rio Tietê. A bacia do rio Jacaré-Guaçu abrange os municípios de Nova Europa e Gavião Peixoto por completo, além de abranger parte dos municípios de Analândia, Araraquara, Boa Esperança do Sul, Brotas, Dourado, Ibaté, Ibitinga, Itirapina, Matão, Ribeirão Bonito, São Carlos, Tabatinga e Trabiçu.

A UGRHI 13 encontra-se, atualmente, em processo de industrialização (Cetesb, 2017a), i.e., é uma região caracterizada por um acelerado desenvolvimento do setor industrial, mas que possui participação do agronegócio na economia. Quanto a ocupação da bacia hidrográfica, verificou-se que trata-se de uma área predominantemente antropizada, sendo que os seguintes usos e cobertura da terra são encontrados (Trevisan et al. 2020): (i) cana-de-açúcar, (ii) pastagens, (iii) citricultura, (iv) silvicultura, (v) áreas urbanas, (vi) culturas diversas, (vii) água e (viii) vegetação nativa.

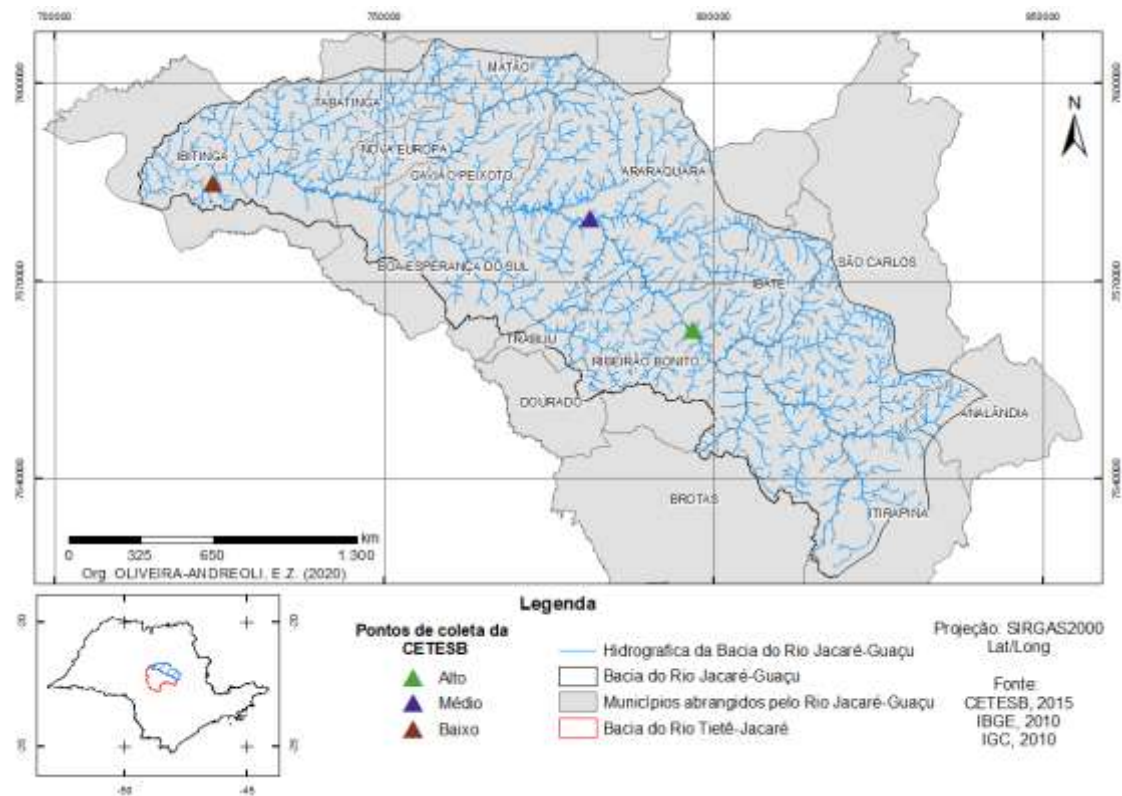


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Autores



Considerando os municípios que fazem parte da bacia hidrográfica estudada, o clima da área varia entre Cwa, que é caracterizado por ser tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, e Aw, definido como tropical chuvoso com inverno seco (Cepagri, 2018, Trevisan et al., 2020). Quanto à vegetação, as fisionomias mais encontradas na UGRHI 13 são Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Savana Florestada (São Paulo, 2020). A bacia do rio Jacaré-Guaçu apresenta, aproximadamente, 19,04% de sua área de drenagem ocupada pela vegetação nativa remanescente, distribuída ao longo da bacia hidrográfica (Costa et al., 2017).

### ***Variáveis limnológicas***

Para a realização da caracterização limnológica do rio Jacaré-Guaçu, foram utilizados os dados disponíveis na base da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), disponibilizados na forma de anexos dos relatórios de qualidade das águas interiores do estado (Cetesb, 2018). No presente estudo, o período de análise abrangeu 2015 e 2016. As amostragens foram realizadas no rio Jacaré-Guaçu, durante os meses de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro de cada ano.

Tendo em conta a área de drenagem da bacia do rio Jacaré-Guaçu, foram selecionados os pontos amostrais localizados no curso alto (código: 13 JCGU 03200), médio (código: 13 JCGU 03400) e baixo (código: 13 JCGU 03900) do ambiente aquático monitorado pela Cetesb (Figura 1). Tal desenho amostral favorece a obtenção de um gradiente longitudinal, que possibilita a verificação de possíveis alterações nas variáveis limnológicas ao longo do percurso do corpo hídrico pela bacia hidrográfica, que drena uma área antropizada. Salienta-se que os trechos selecionados para análise são estações de coleta de água que pertencem à rede de monitoramento básico da CETESB.

Ao todo, 15 variáveis limnológicas que possuíam dados para todas as campanhas analisadas e, faziam parte dos indicadores monitorados pela Cetesb foram alvo de análise: (i) condutividade elétrica – CE (uS/cm), (ii) oxigênio dissolvido – OD (mg/L), (iii) pH, (iv) temperatura – T (°C), (v) carbono orgânico dissolvido – COD (mg/L), (vi) carbono orgânico total – COT (mg/L), (vii) demanda bioquímica de oxigênio – DBO (mg/L), (viii) fósforo total – PT (mg/L), (ix) nitrogênio amoniacal – amônia (mg/L), (x) nitrato (mg/L), (xi) nitrito (mg/L), (xii) sólidos dissolvidos totais – STD (mg/L), (xiii) sólidos totais – ST (mg/L), (xiv) turbidez (UNT) e (xv) coliformes termotolerantes – Coli (UFC/100 ml).

Para tanto, considerou-se que as três primeiras campanhas amostrais (janeiro, março, maio) realizadas pela CETESB correspondem a estação de cheia (i.e. período caracterizado pelo elevado volume de precipitação atmosférica), ao passo que as outras três (julho, setembro, novembro) correspondem ao período de seca (i.e. período caracterizado pelo baixo volume de precipitação atmosférica).

### ***Diagrama de Pareto***

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta utilizada para gestão da qualidade e faz parte do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), visto que é capaz de apontar elementos que estão em desacordo com o parâmetro adotado como referência ou indicativo de normalidade (Silva et al., 2013), característica que pode ser de grande valia para diagnósticos em Limnologia Aplicada e eventuais não conformidades.

O rio Jacaré-Guaçu, conforme o Decreto Estadual nº 10.755/77 (São Paulo, 1977), que versa sobre o enquadramento dos corpos de águas receptoras previstas pelo Decreto nº 8.468/76 (São Paulo, 1976), possui os trechos avaliados enquadrados na Classe 3 e seu uso preconizado é voltado para o abastecimento público, preservação da biota aquática e dessedentação. Destaca-se que, durante o período avaliado, não ocorreu o reenquadramento da bacia hidrográfica.

Tendo como base a Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005), dispositivo que estabelece valores de referência para as variáveis limnológicas, e o Diagrama de Pareto, que prioriza as principais não conformidades encontradas com base em sua frequência relativa, uma análise foi realizada de modo a verificar as principais não conformidades limnológicas e suas eventuais relações com a interferência antrópica. Com exceção das variáveis CE, COT, COD, T e ST, todas as variáveis limnológicas descritas anteriormente foram analisadas. A exclusão de algumas variáveis limnológica da análise se deu pelo fato de que não existem valores de referência no dispositivo normativo utilizado como base, i.e. a Resolução CONAMA 357/05.



### **Análise estatística**

Buscando testar as hipóteses do presente estudo, análises estatísticas foram realizadas para todas as variáveis limnológicas analisadas. Primeiramente, verificou-se a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p$ -valor: 0,05) e o gráfico de resíduos, pressupostos da análise estatística. Diante do fato de que os dados de algumas variáveis limnológicas não possuem distribuição normal, mesmo após a realização de transformações dos dados, um teste não paramétrico foi empregado.

A verificação da existência de diferenças significativas entre os anos de amostragem, estações climáticas (i.e. cheia e seca) e trechos do rio (i.e. alto, médio e baixo) ocorreu por meio do teste de Kruskal-Wallis ( $p$ -valor: 0,05). Ainda nesse sentido, tendo o intuito de analisar possíveis padrões entre as variáveis limnológicas, uma Análise dos Componentes Principais (ACP) foi realizada. A ACP possibilita a descrição multidimensional dos dados ambientais, bem como as combinações lineares tornam possíveis postulações, ou seja, por meio da redução das dimensões dos dados ocorre combinações lineares que favorecem a interpretação dos dados (Härdle & Simar, 2015, Silva et al., 2020). Todo o tratamento estatístico dos dados utilizados no presente estudo foi realizado através da linguagem R (R Core Team, 2018).

### **Resultados e discussão**

As Tabelas 1 e 2 elencam as médias e os desvios padrão das variáveis limnológicas referentes a 2015 e 2016, respectivamente. Se tratando da CE, os maiores valores médios foram observados durante o período de seca (salvo P3 durante o ano de 2015), o maior registro foi verificado no curso alto e as maiores concentrações foram observados durante o ano de 2015.

Em relação ao OD, valores similares foram observados entre os trechos avaliados e estações climáticas ao longo do ano de 2015. Já em 2016, os valores médios obtidos para OD variaram de 4,18 a 7,73, sendo que as menores concentrações foram observadas nos trechos médio e baixo no período chuvoso.

Quanto a temperatura, evidentemente não ocorreram grandes variações entre os anos, mas os maiores valores observados foram registrados durante a estação chuvosa, ao passo que o contrário é verdadeiro, os menores valores foram constatados durante a seca.

Similarmente, grandes variações não foram observadas para o pH em relação aos anos avaliados e os trechos também, o meio pode ser caracterizado como neutro (principalmente na estação chuvosa) e levemente ácido durante a estação de cheia.

O COD apresentou maiores valores durante o período de estiagem, sendo que os maiores valores registros foram observados no trecho baixo, porém quando se compara os anos, os valores analisados para 2016 foram superiores ao ano anterior, sendo o maior valor médio observado no trecho médio durante a estiagem. O COT apresentou um padrão semelhante ao observado para COD, sendo que uma maior variação dos valores foi constatada durante o período de estiagem durante 2016, principalmente entre os cursos alto e baixo.

Para a DBO, em ambos os anos avaliados, os maiores valores foram evidenciados durante o período de estiagem, provavelmente em função da entrada de substâncias nos ambientes aquáticos. A maior interferência antrópica sobre esta variável foi observada no trecho alto em 2015, visto a maior variabilidade em relação a 2016.

Por sua vez, os valores médios de PT encontrados foram observados nos cursos alto e médio, sendo as maiores concentrações observadas no último, o que mostrou um enriquecimento em relação a esse nutriente ao longo do gradiente, situação mais visível durante o ano de 2015.

Quanto as formas de nitrogênio, notou-se uma redução da amônia ao longo do gradiente, sendo os maiores valores constatados no período de cheia, salvo o curso alto durante o período de estiagem em 2015. O nitrato demonstrou um comportamento contrário em relação ao gradiente longitudinal no período de estiagem, visto o aumento em suas concentrações, mas durante o período de cheia uma menor variabilidade foi observada entre as estações amostrais. Em se tratando do nitrito, os valores médios desta variável não demonstraram grandes variações em relação ao gradiente longitudinal e temporal.

Outrossim, como observado para outras variáveis, STD e ST demonstraram um comportamento similar no período avaliado. Estas variáveis, salvo o período de estiagem em 2015 no curso baixo, demonstram os maiores valores médios durante o período chuvoso, situação que pode ser associada com o efeito do escoamento superficial. Ainda neste sentido, a turbidez demonstrou uma



tendência de aumento ao longo do gradiente longitudinal, sendo que maiores valores foram observados durante o período de cheia. Salienta-se que, no ano de 2015 foram verificados os maiores valores de turbidez.

Por fim, os valores médios de Coli refletiram a existência de uma contaminação microbiológica. Um padrão pode ser observado entre os dados analisados, os maiores valores médios são verificados durante o período de chuvoso. Um outro fato que chama a atenção é que evidencia-se uma tendência de redução dos valores entre o curso alto e médio, bem como uma tendência de aumento entre os cursos médio e baixo, um eventual indicativo de que ao longo de seu trajeto, o rio Jacaré-Guaçu recebe a entrada de esgoto doméstico e aporte de material fecal (e.g. estrume) oriundos das pastagens, o que leva ao aumento desta variável limnológica. Os maiores valores foram verificados durante 2015.

Tabela 1. Média e desvio padrão (entre parênteses) das variáveis limnológicas referentes ao ano de 2015.

| Estação                                    | 2015                |                  |                       |                      |                        |                        | Valor de Referência<br>(CONAMA 357) |
|--|---------------------|------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|
|  | Alto                |                  | Médio                 |                      | Baixo                  |                        |                                     |
|  | Cheia               | Seca             | Cheia                 | Seca                 | Cheia                  | Seca                   |                                     |
| <b>CE</b><br><b>(<math>\mu</math>S/cm)</b> | 74,50<br>(11,70)    | 92,50<br>(22,67) | 69,60<br>(7,18)       | 80,10<br>(14,23)     | 88,80<br>(37,95)       | 69,90<br>(2,16)        | -                                   |
| <b>OD</b><br><b>(mg/L)</b>                 | 5,79<br>(0,67)      | 6,60<br>(1,50)   | 5,61<br>(0,58)        | 5,60<br>(1,28)       | 6,16<br>(0,30)         | 5,99<br>(1,35)         | > 4                                 |
| <b>Temp</b><br><b>(°C)</b>                 | 24,07<br>(1,55)     | 21,70<br>(2,31)  | 24,20<br>(1,98)       | 23,20<br>(2,25)      | 25,77<br>(3,02)        | 22,60<br>(2,45)        | -                                   |
| <b>pH</b>                                  | 6,73<br>(0,29)      | 7,06<br>(0,23)   | 6,92<br>(0,07)        | 6,94<br>(0,11)       | 6,75<br>(0,21)         | 6,86<br>(0,14)         | 6 até 9                             |
| <b>COD</b><br><b>(mg/L)</b>                | 3,10<br>(0,26)      | 4,43<br>(1,59)   | 2,80<br>(1,05)        | 5,07<br>(1,44)       | 4,20<br>(1,04)         | 4,54<br>(1,96)         | -                                   |
| <b>COT</b><br><b>(mg/L)</b>                | 6,50<br>(0,78)      | 5,20<br>(0,13)   | 6,55<br>(0,80)        | 6,12<br>(1,01)       | 7,60<br>(0,89)         | 6,33<br>(1,23)         | -                                   |
| <b>DBO</b><br><b>(mg/L)</b>                | 4,33<br>(1,53)      | 1,99<br>(0,01)   | 3,00<br>(1,01)        | 1,99<br>(0,00)       | 2,66<br>(1,16)         | 1,99<br>(0,00)         | < 10                                |
| <b>PT</b><br><b>(mg/L)</b>                 | 0,10<br>(0,02)      | 0,09<br>(0,04)   | 0,12<br>(0,05)        | 0,10<br>(0,02)       | 0,13<br>(0,01)         | 0,13<br>(0,03)         | < 0,15                              |
| <b>Amônia</b><br><b>(mg/L)</b>             | 0,78<br>(0,31)      | 2,00<br>(0,94)   | 0,20<br>(0,08)        | 0,29<br>(0,15)       | 0,14<br>(0,04)         | 0,14<br>(0,07)         | < 13,3                              |
| <b>Nitrato</b><br><b>(mg/L)</b>            | 0,54<br>(0,13)      | 0,40<br>(0,06)   | 0,81<br>(0,40)        | 0,70<br>(0,11)       | 1,22<br>(0,36)         | 0,79<br>(0,53)         | < 10                                |
| <b>Nitrito</b><br><b>(mg/L)</b>            | 0,09<br>(0,05)      | 0,09<br>(0,00)   | 0,06<br>(0,07)        | 0,09<br>(0,00)       | 0,04<br>(0,04)         | 0,09<br>(0,00)         | < 1                                 |
| <b>STD</b><br><b>(mg/L)</b>                | 80,33<br>(12,50)    | 62,00<br>(39,23) | 102,00<br>(28)        | 71,00<br>(31,32)     | 96,67<br>(50,16)       | 93,33<br>(33,71)       | < 500                               |
| <b>ST</b><br><b>(mg/L)</b>                 | 101,33<br>(25,01)   | 75,00<br>(44,44) | 130,00<br>(4)         | 89,00<br>(26,27)     | 134,33<br>(65,04)      | 105,00<br>(37,32)      | -                                   |
| <b>Turbidez</b><br><b>(UNT)</b>            | 28,33<br>(7,64)     | 18,00<br>(3,46)  | 40,00<br>(30,99)      | 22,00<br>(9,64)      | 57,33<br>(45,71)       | 26,07<br>(16,95)       | < 100                               |
| <b>Coli</b><br><b>(UFC/100mL)</b>          | 18633,33<br>(21159) | 1100<br>(957,15) | 2900,00<br>(26175,26) | 500,00<br>(27775,90) | 15973,33<br>(23456,39) | 19100,00<br>(31956,46) | < 2400                              |



Tabela 2. Média e desvio padrão (entre parênteses) das variáveis limnológicas referentes ao ano de 2016.

| Estação                             | 2016                |                     |                     |                     |                     |                    | Valor de Referência<br>(CONAMA 357) |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------|
|                                     | Alto                |                     | Médio               |                     | Baixo               |                    |                                     |
|                                     | Cheia               | Seca                | Cheia               | Seca                | Cheia               | Seca               |                                     |
| <b>CE</b><br>( <b>µS/cm</b> )       | 69,33<br>(19,24)    | 76,80<br>(9,12)     | 70,60<br>(13,37)    | 72,70<br>(7,81)     | 66,43<br>(11,96)    | 70,47<br>(3,33)    | -                                   |
| <b>OD</b><br>( <b>mg/L</b> )        | 5,23<br>(1,46)      | 7,23<br>(0,81)      | 4,18<br>(1,96)      | 6,51<br>(0,93)      | 5,14<br>(2,15)      | 6,77<br>(0,28)     | > 4                                 |
| <b>Temp</b><br>( <b>°C</b> )        | 23,57<br>(3,88)     | 19,80<br>(2,57)     | 24,80<br>(4,01)     | 21,10<br>(2,72)     | 24,07<br>(3,78)     | 22,57<br>(2,47)    | -                                   |
| <b>pH</b>                           | 6,95<br>(0,26)      | 7,11<br>(0,16)      | 6,88<br>(0,24)      | 7,06<br>(0,19)      | 6,85<br>(0,34)      | 7,05<br>(0,08)     | 6 até 9                             |
| <b>COD</b><br>( <b>mg/L</b> )       | 4,81<br>(1,83)      | 6,80<br>(3,11)      | 5,50<br>(1,64)      | 8,10<br>(3,75)      | 5,77<br>(2,22)      | 4,43<br>(2,33)     | -                                   |
| <b>COT</b><br>( <b>mg/L</b> )       | 6,40<br>(1,20)      | 9,20<br>(3,44)      | 6,97<br>(1,25)      | 9,20<br>(3,19)      | 7,23<br>(2,67)      | 6,20<br>(2,72)     | -                                   |
| <b>DBO</b><br>( <b>mg/L</b> )       | 1,99<br>(0,00)      | 1,99<br>(0,00)      | 1,99<br>(0,00)      | 1,99<br>(0,58)      | 1,99<br>(0,00)      | 1,99<br>(0,00)     | < 10                                |
| <b>PT</b><br>( <b>mg/L</b> )        | 0,06<br>(0,03)      | 0,07<br>(0,01)      | 0,07<br>(0,03)      | 0,08<br>(0,02)      | 0,09<br>(0,04)      | 0,10<br>(0,01)     | < 0,15                              |
| <b>Amônia</b><br>( <b>mg/L</b> )    | 0,63<br>(0,70)      | 0,66<br>(0,21)      | 0,08<br>(0,11)      | 0,13<br>(0,11)      | 0,08<br>(0,03)      | 0,12<br>(0,05)     | < 13,3                              |
| <b>Nitrato</b><br>( <b>mg/L</b> )   | 0,68<br>(0,24)      | 0,72<br>(0,15)      | 0,49<br>(0,65)      | 0,94<br>(1,15)      | 0,59<br>(0,66)      | 1,02<br>(0,29)     | < 10                                |
| <b>Nitrito</b><br>( <b>mg/L</b> )   | 0,10<br>(0,02)      | 0,07<br>(0,02)      | 0,09<br>(0,01)      | 0,04<br>(0,04)      | 0,08<br>(0,02)      | 0,05<br>(0,04)     | < 1                                 |
| <b>STD</b><br>( <b>mg/L</b> )       | 93,00<br>(7,55)     | 66,00<br>(16,01)    | 84,00<br>(6,08)     | 69,00<br>(19,50)    | 114,33<br>(23,80)   | 75,33<br>(23,07)   | < 500                               |
| <b>ST</b><br>( <b>mg/L</b> )        | 105,00<br>(14,73)   | 77,00<br>(22,27)    | 96,00<br>(24,85)    | 75,00<br>(20,74)    | 121,00<br>(23,64)   | 87,67<br>(25,32)   | -                                   |
| <b>Turbidez</b><br>( <b>UNT</b> )   | 19,67<br>(12,50)    | 15,00<br>(3,06)     | 17,00<br>(21,79)    | 16,00<br>(3,61)     | 32,67<br>(15,01)    | 23,33<br>(4,16)    | < 100                               |
| <b>Coli</b><br>( <b>UFC/100mL</b> ) | 1066,67<br>(197,32) | 2500,00<br>(930,16) | 440,00<br>(4774,75) | 196,00<br>(1978,12) | 1613,33<br>(997,26) | 786,67<br>(179,26) | < 2400                              |

Salienta-se que somente 20 não conformidades tendo como referência a Resolução CONAMA 357/05 foram constatadas durante o período de avaliação (Figura 2), sendo que 65% delas ocorreram em 2015, enquanto 35% ocorreram em 2016. Em relação aos trechos, destaca-se que o curso baixo apresentou seis não conformidades (30%), ao passo que os demais trechos apresentaram sete não conformidades cada (35%). Observando os dados apresentados na Figura 3, notou-se que a variável caracterizada pelo maior número de não conformidades são os Coli (75%), seguida de OD (10%), PT (10) e turbidez (5%).

O OD é uma variável que desempenha um importante papel nos processos biológicos e metabolismo celular. Quando se encontra em baixas concentrações, pode indicar que a matéria orgânica presente no meio se encontra em processo de degradação



(Furtado & Lopes, 2015, Noriega et al., 2017). Uma não conformidade (concentração < 4,00 mg/L) com a Resolução CONAMA 357/05 foi constatada no curso alto e médio do rio Jacaré-Guaçu durante o período chuvoso de 2016. Uma possível explicação para essa situação é a variação que ocorre nas concentrações de OD ao longo do dia ou até mesmo a degradação da matéria orgânica presente no sistema.

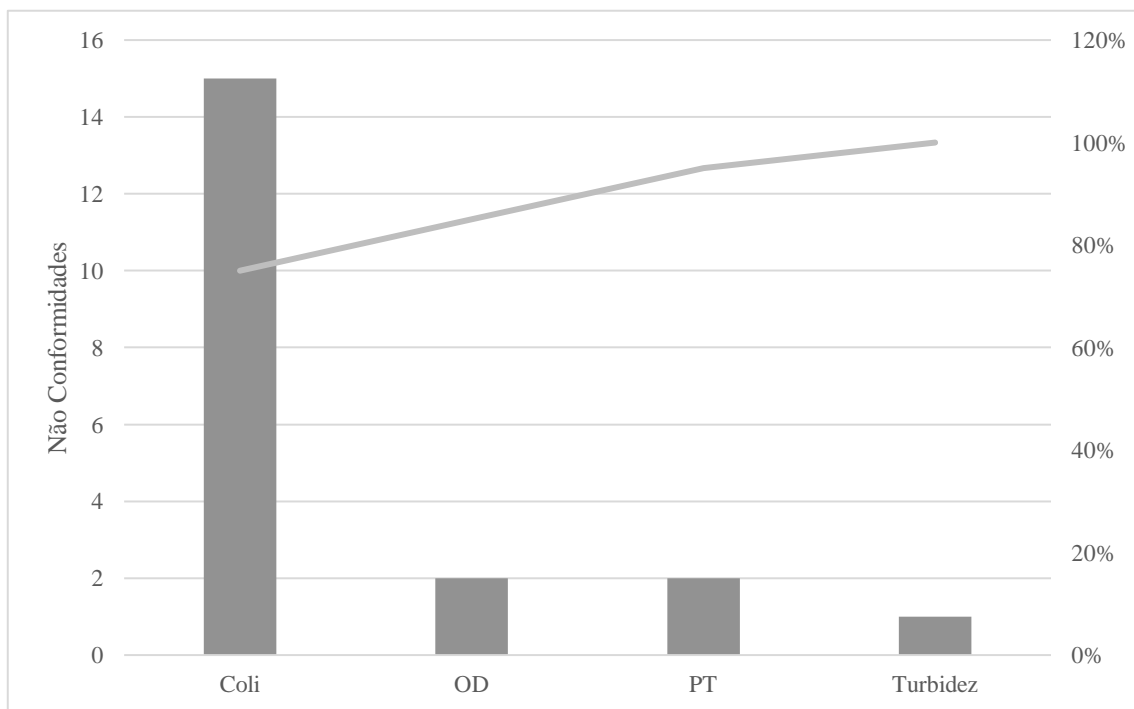


Figura 2. Diagrama de Pareto e a frequência acumulada das não conformidades do Rio Jacaré-Guaçu

Por sua vez, os Coli é um grupo de bactérias característico da microbiota intestinal dos animais de sangue quente (Arruda et al., 2016) e a sua presença nos corpos hídricos pode ser um indicio de que o corpo hídrico está sendo submetido a contaminação microbiológica por despejos irregulares de esgoto doméstico ou aporte das fezes de animais no corpo aquático durante a ocorrência de chuvas (Silva et al., 2017), bem como pode sofrer influência devido a utilização de corpos hídricos tributários para a dessedentação de animais, o que pode levar ao aporte de fezes. Ocorreram não conformidades em ambos os períodos climáticos (> 2.400 UFC/ml); porém notou-se que a maior parte dos valores que excederam a referência foram constatados nos cursos alto e médio do rio Jacaré-Guaçu durante o ano de 2015, principalmente na estação chuvosa. Já durante o ano de 2016, foi possível constatar que as não conformidades foram mais pontuais e ocorreram principalmente durante o período de estiagem.

Somente duas concentrações de PT estiveram acima do valor de referência (0,15 mg/L), sendo que ocorreram durante o período de estiagem e o período chuvoso em 2015 nos trechos alto e médio do rio Jacaré-Guaçu, respectivamente. O PT é um nutriente essencial para o metabolismo celular; Azevedo et al. (2014) destacam que a ressuspensão do material presente no sedimento e a poluição difusa são importantes vias de entrada desse elemento nos ambientes aquáticos. Este elemento é essencial para desenvolvimento dos organismos e pode ser um nutriente limitante para a produtividade primária do corpo d'água (APHA, 1998). Em se tratando do rio Jacaré-Guaçu, os valores de PT encontrados podem estar associados com a poluição difusa das áreas destinadas ao agronegócio, bem como a ressuspensão da matéria orgânica presente no sedimento do rio e eventuais despejos pontuais de efluentes domésticos e industriais.

Por fim, somente uma não conformidade foi encontrada para a turbidez (valor > 100 UNT), situação verificada durante o período chuvoso de 2015 no curso baixo. Salienta-se que essa variável está relacionada com a quantidade de material particulado presente na água. Esse material particulado pode ser de origem inorgânica (e.g. areia, silte, argila) ou orgânica (e.g. algas, bactérias, plâncton) (Cetesb, 2017b). As partículas presentes no ambiente aquático influenciam na passagem da luz (Barcellos et al., 2006), podendo comprometer o processo de fotossíntese no ecossistema aquático. A situação constatada possivelmente relacionou-se com o





aporte de material particulado para o corpo hídrico durante a ocorrência de precipitações atmosféricas, sendo que ocorreram chuvas nas últimas 24 horas que antecederam a realização da coleta. Tal processo contribui para a entrada de poluentes/substâncias nos corpos hídricos devido ao escoamento superficial.

Tendo em conta as hipóteses inicialmente assumidas, ao nível de significância de 5%, temos evidências estatísticas de que não existem diferenças significativas entre as concentrações das variáveis limnológicas no que se refere aos trechos do rio Jacaré-Guaçu, anos de amostragem e estações climáticas. Todavia, tal situação não é verdadeira para todas as variáveis em análise, já que algumas exceções foram constatadas (Tabela 3).

A sazonalidade foi significativa para o pH, T, STD, ST e turbidez. Tal situação foi decorrente do fato da forte influência climática sobre os sistemas aquáticos continentais, já que durante o período chuvoso costuma-se constatar maiores temperaturas e a maior ocorrência de chuvas (e.g. Buzelli & Cunha-Santino, 2013; Damasceno et al., 2015; Furtado & Lopes, 2015; Oliveira et al., 2017; Santos et al. 2017). Este evento contribui para um maior aporte de materiais para os ambientais aquáticos, uma situação distinta da observada durante o período de seca, onde se registram menores temperaturas e menores volumes de precipitação atmosférica. Esse fator influenciou diretamente nas concentrações de STD, ST e turbidez, além de influenciar na acidez do meio. A temperatura superficial é uma variável influenciada por fatores geográficos (i.e. latitude e altitude), período do dia, profundidade e taxa de fluxo. Essa variável intervém diretamente no processo de decomposição, conseqüentemente, na ciclagem da matéria orgânica, sendo importante para a manutenção da biótica aquática (Cetesb, 2017b).

Em relação aos anos de amostragem, diferenças significativas foram constatadas para o COD, PT e turbidez. O COD é um indicativo do teor de matéria orgânica presente no sistema (Silva et al., 2017), sendo assim é possível inferir que a matéria orgânica presente no rio Jacaré-Guaçu variou entre os anos avaliados, indicando assim uma maior entrada durante um dos anos em relação ao outro, porém o teste paramétrico não permite dizer qual ano, já que não tem um teste a posteriori. O PT e a turbidez podem ter tido suas diferenças significativas associadas com o maior aporte de material durante os episódios de chuva, situação que pode ter diferido entre os anos e incidido no resultado obtido, porém o PT pode estar associado com os processos de liberação dentro do sistema (e.g. espiral de nutrientes, ressuspensão de sedimento) aquático.

Tabela 3. Resultados do teste Kruskal-Wallis ( $\alpha=5\%$ ) para as variáveis limnológica do rio Jacaré-Guaçu

| Variável    | Fatores | Chi-Quadrado | Graus de Liberdade | P-valor |
|-------------|---------|--------------|--------------------|---------|
| <b>CE</b>   | Curso   | 0,78539      | 2                  | 0.6752  |
|             | Ano     | 1.6421       | 1                  | 0.2     |
|             | Estação | 0.65098      | 1                  | 0.4198  |
| <b>OD</b>   | Curso   | 0.21292      | 2                  | 0.899   |
|             | Ano     | 0.0090125    | 1                  | 0.9244  |
|             | Estação | 3.6653       | 1                  | 0.05556 |
| <b>pH</b>   | Curso   | 1.1558       | 2                  | 0.5611  |
|             | Ano     | 3.1424       | 1                  | 0.07628 |
|             | Estação | 6.0964       | 1                  | 0.01355 |
| <b>Temp</b> | Curso   | 1.3436       | 2                  | 0.5108  |
|             | Ano     | 0.90148      | 1                  | 0.3424  |
|             | Estação | 4.6316       | 1                  | 0.03139 |
| <b>COD</b>  | Curso   | 0.5526       | 2                  | 0.7586  |
|             | Ano     | 4.7694       | 1                  | 0.02897 |
|             | Estação | 0.13248      | 1                  | 0.7159  |
| <b>COT</b>  | Curso   | 0.47347      | 2                  | 0.7892  |
|             | Ano     | 1.8946       | 1                  | 0.1687  |
|             | Estação | 1.3707       | 1                  | 0.2417  |



| Variável        | Fatores | Chi-Quadrado | Graus de Liberdade | P-valor                |
|-----------------|---------|--------------|--------------------|------------------------|
| <b>DBO</b>      | Curso   | 2.0001       | 2                  | 0.3679                 |
|                 | Ano     | 5.8319       | 1                  | 0.01574                |
|                 | Estação | 3.1827       | 1                  | 0.07442                |
| <b>PT</b>       | Curso   | 6.2777       | 2                  | 0.04333                |
|                 | Ano     | 10.938       | 1                  | 0.000942               |
|                 | Estação | 0.11043      | 1                  | 0.7397                 |
| <b>Amônia</b>   | Curso   | 21.262       | 2                  | 2.416x10 <sup>-5</sup> |
|                 | Ano     | 2.6594       | 1                  | 0.1029                 |
|                 | Estação | 0.50761      | 1                  | 0.4762                 |
| <b>Nitrato</b>  | Curso   | 5.9584       | 2                  | 0.05083                |
|                 | Ano     | 0.030308     | 1                  | 0.8618                 |
|                 | Estação | 0.0022543    | 1                  | 0.9621                 |
| <b>Nitrito</b>  | Curso   | 3.0475       | 2                  | 0.2179                 |
|                 | Ano     | 0.44682      | 1                  | 0.5038                 |
|                 | Estação | 1.0226       | 1                  | 0.3119                 |
| <b>STD</b>      | Curso   | 1.6085       | 2                  | 0.4474                 |
|                 | Ano     | 0.020317     | 1                  | 0.8867                 |
|                 | Estação | 4.1096       | 1                  | 0.04264                |
| <b>ST</b>       | Curso   | 1.8486       | 2                  | 0.3968                 |
|                 | Ano     | 0.99401      | 1                  | 0.3188                 |
|                 | Estação | 8.479        | 1                  | 0.003593               |
| <b>Turbidez</b> | Curso   | 5.4173       | 2                  | 0.06663                |
|                 | Ano     | 3.9187       | 1                  | 0.04775                |
|                 | Estação | 5.0571       | 1                  | 0.02453                |
| <b>Coli</b>     | Curso   | 2.6948       | 2                  | 0.2599                 |
|                 | Ano     | 2.5535       | 1                  | 0.1101                 |
|                 | Estação | 2.974        | 1                  | 0.08461                |

Dentre as variáveis limnológicas consideradas na análise, somente PT e amônia mostraram diferenças significativas entre os trechos do rio Jacaré-Guaçu. Ao se observar as concentrações obtidas para essas variáveis durante o período amostral, constata-se que os maiores valores registrados para o PT ocorreram no trecho baixo do rio Jacaré-Guaçu, enquanto os maiores valores de PT foram registrados no trecho alto do rio. A amônia é um composto derivado do amoníaco, resultante da degradação da matéria orgânica (Silva & Araújo, 2017); sendo assim, pode ser um indicativo de que a entrada de matéria orgânica no sistema estaria ocorrendo no curso alto do rio Jacaré-Guaçu, antes da estação de coleta. Em relação ao PT, uma possível explicação é a espiral de nutrientes (Newbold et al., 1980), fator que propicia a exportação desse nutriente e influência no seu transporte.

No que, ainda, se refere aos nutrientes, Tundisi et al. (2008) constataram a existência de fontes pontuais e não pontuais de poluição na bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu, situação também constatada pelo presente estudo. Os autores elencaram como as principais causas do enriquecimento de nutrientes o despejo de esgotos doméstico e a existência de extensas áreas destinadas ao agronegócio devido a aplicação de fertilizantes nas lavouras.

O predomínio de áreas destinadas as atividades humanas têm afetado a provisão dos serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu, devido ao comprometimento do capital natural, é notório que a qualidade da água e as necessidades humanas podem ficar comprometidas (Costa et al., 2017, Periotto & Tundisi, 2018). Avaliações também realizadas em áreas de Cerrado com o intuito de verificar relações entre usos da terra e parâmetros limnológicos reforçam como a perda de integridade ambiental implica na



em alterações hidroquímicas (Nóbrega et al., 2017, Calvão et al., 2018, Alves et al., 2019, Veras et al., 2019, Cunha et al., 2020, Silva et al., 2020).

A não existência de diferenças significativas na temperatura entre os trechos do rio pode estar ligada ao conceito do contínuo fluvial (Vannote et al., 1980), que traz como premissa a existência de um gradiente contínuo no que se refere às variáveis físicas do ambiente lótico, desde sua nascente até a sua foz. Essa situação, também, foi válida para os elementos inorgânicos (i.e. ST, STD), uma vez que variações não significativas também foram constatadas.

No intuito de obter uma análise dos gradientes ambientais e visando observar a existência de possíveis padrões entre os dados limnológicos e os trechos do rio Jacaré-Guaçu, uma ACP foi realizada. A Figura 3 mostra o diagrama de ordenação gerado, sendo possível identificar que os dois eixos principais da análise explicam 46,46% da variação total dos dados ambientais. Ficou evidente a existência de uma relação positiva dos trechos avaliados com a temperatura durante o período chuvoso, ao passo que uma associação negativa foi observada entre os trechos durante o período de estiagem. O OD apresentou uma relação negativa com a temperatura, padrão, também, observado entre nitrito e COD, COT e amônia, além de CE e COD. Por outro lado, nota-se uma relação positiva entre as variáveis turbidez, Coli, PT, ST, DBO e STD. Salienta-se ainda que o nitrito e CE também apresentaram uma relação positiva.

Em relação aos anos de amostragem, ficou evidente a existência de dois grupos, sendo que as amostras obtidas em 2015 encontram-se do lado esquerdo do diagrama, enquanto aquelas obtidas no ano de 2016 estão na direita. Durante 2015, verificou-se uma associação positiva, principalmente dos trechos alto e baixo, com as variáveis ST, DBO, ST, STD, Coli e PT, situação mais evidente durante o período chuvoso. Por outro lado, durante 2016, foi verificado uma relação positiva dos trechos do rio Jacaré-Guaçu com o pH e OD. No que se refere às variáveis COD, COT e Temp, notou-se a existência de uma relação negativa principalmente em relação ao trecho alto, ao passo que essa relação se tornou positiva tratando-se dos demais trechos, principalmente durante o período chuvoso.

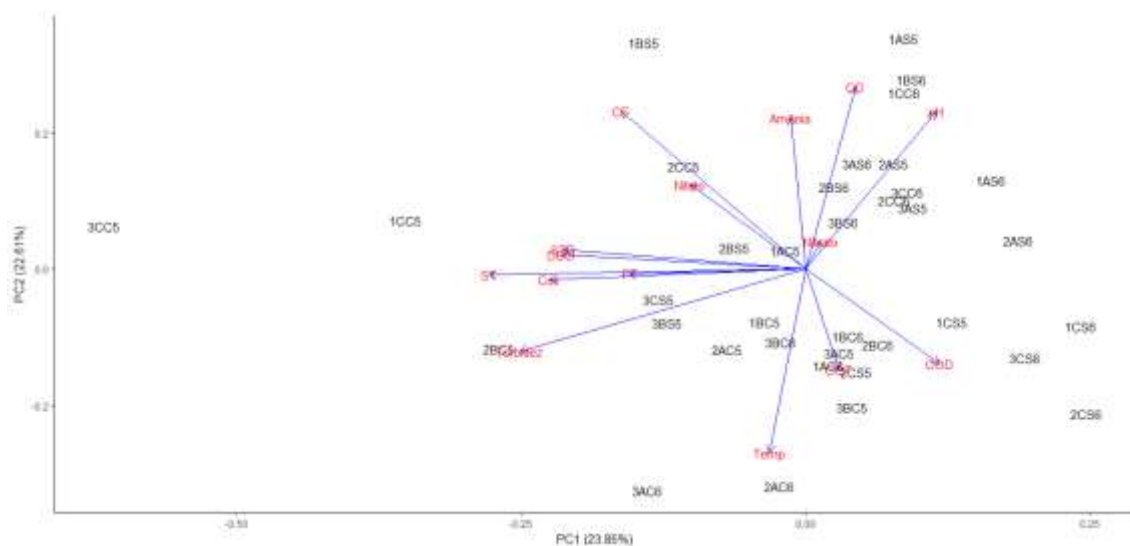


Figura 3. ACP para as variáveis limnológica do rio Jacaré-Guaçu. Onde: 1 = trecho alto do rio, 2 = trecho médio do rio, 3 = trecho baixo do rio; A = primeira amostra; B = segunda amostra; 3 = terceira amostra; C = período de cheia; S = período de seca; 5 = ano de 2015; 6 = ano de 2016.

## Conclusão

Conclui-se que o rio Jacaré-Guaçu sofre interferência antrópica em suas variáveis limnológicas, situação evidente nas concentrações de PT e amônia, visto que diferenças significativas foram constatadas entre os trechos avaliados e não conformidades com a Resolução CONAMA 357/05 foram registradas. Destaca-se, ainda, que essas variáveis possuem relação com a interferência antrópica, principalmente o agronegócio e a urbanização. O cenário encontrado poder ser atribuído a entrada de nutrientes/matéria orgânica de origem fecal no sistema aquático, situação indicada pela presença de Coli e pelo gradiente de mudanças das concentrações de amônia, mostrando variações ao longo do gradiente longitudinal. Em relação às demais variáveis limnológicas consideradas na análise, notou-se que não foram observadas diferenças significativas entre os trechos do rio; em relação aos anos somente COD, PT e



turbidez apresentaram diferenças significativas, situação que pode estar associada com às condições da paisagem, mesmo diante de um cenário de recuperação da vegetação nativa.

Considerando a sazonalidade, como esperado, verificou-se que a estação climática exerce forte influência nas variáveis limnológicas. Apesar de não existirem diferenças significativas entre as variáveis durante 2015 e 2016, salvo exceções, fica claro que as variáveis limnológicas não se comportaram da mesma forma, conforme verificado na ACP. Tal fator deve-se ao fato de que os ecossistemas aquáticos não são sistemas estáticos, mas estão submetidos a uma série de fatores de origem abiótica e biótica. Por fim, destaca-se que, apesar de estar inserido em uma paisagem antropizada, o rio Jacaré-Guaçu não apresentou grande interferência antrópica em suas variáveis limnológicas no período avaliado, assim como apresentou um gradiente contínuo para boa parte dos parâmetros considerados. Os métodos empregados para análise foram de grande valia, visto que possibilitaram a verificação das variáveis em desacordo com os valores adotados como referência, além de favorecerem a observação de padrões existentes e maior robustez da discussão. A recuperação da vegetação nativa, em especial nas áreas de vegetação marginal, contribuirá para a melhoria do cenário encontrado e na manutenção da homeostase do rio Jacaré-Guaçu.

## Referências

- Alves, MTR, Machado, KB, Ferreira, ME, Vieira, LC, Nabout, JC 2019. A snapshot of the limnological features in tropical floodplain lakes: the relative influence of climate and land use. *Acta Limnol. Bras.* 31:e10.
- APHA (American Public Health Association) 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington D.C.
- Arruda ROM, Dalmas FB, Militão FA, Santos JC, Garcia AP 2016. Análise geoambiental aplicada ao estudo da relação entre qualidade da água e ocupação das margens da represa Guarapiranga (São Paulo/SP), entre 2004 e 2014. *Rev UNG Geociências* 15(1): 77 – 93.
- Azevedo SMC, Vasconcelos DV, Avelar JCL 2014. Análises físico-químicas do corpo hídrico na fazenda São Gonçalo em Paraty (RJ). *Rev Iberoam Cien Amb* 5(1): 329–334.
- Barcellos CM et al 2006. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. *Cad Saúde Pub* 22(9): 1967 - 1978.
- Brasil. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Available from: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/l9433.htm).
- Brasil. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Available from: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm).
- Brasil. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Available from: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>.
- Buzelli GM, Cunha-Santino, MB 2013. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). *Rev Ambi-Água* 8(1): 186 - 205.
- Calvão, LB, Juen, L, Oliveira Júnior, JMB, Batista, JD, Marco Júnior, P 2018. Land use modifies Odonata diversity in streams of the Brazilian Cerrado. *J. Insect Conserv.* 22:675-685.
- Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura – Cepagri 2018. Clima dos municípios paulistas. Available from: <https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB 2017a. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2016. Available from: [http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb\\_QualidadeAguasInteriores\\_2016\\_corre%C3%A7%C3%A3o02-11.pdf](http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasInteriores_2016_corre%C3%A7%C3%A3o02-11.pdf)
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB 2017b. Apêndice E: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas de amostragem. Available



- from:<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB 2018. [database on the Internet]. Águas interiores - Publicações e Relatórios [cited 2018 Maio12]. Available from: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios>.
- Costa, RT, Gonçalves, CF, Fushita, AT, Santos, JE 2017. Land Use/Cover and naturalness changes for watershed environmental management (Southeastern Brazil). *Journal of Geoscience and Environment Protection* 5(11):1-14.
- Cunha, ER, Santos, CAG, Silva, RM, Bacani, VM, Pott, A 2020. Future scenarios based on a CA-Markov land use and land cover simulation model for a tropical humid basin in the Cerrado/Atlantic forest ecotone of Brazil. *Land Use Policy* [serial on the Internet]. 2020 out [cited 2020 Nov 25]:[about 17 p.]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837720303288>
- Damasceno et al. 2015. Seasonal evaluation of the quality of surface waters of the Amazon River on the waterfront of Macapá City, Amapá, Brazil. *Rev Amb & Água* 10(3):598-613.
- Furtado CM, Lopes MRM 2015. Influência do pulso de inundação sobre variáveis limnológicas de um trecho urbano do rio Acre, Rio Branco, Acre, Brasil. *Rev Amb* 11(1):133-148.
- Härdle, WH, Simar, L 2015. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 580 pp.
- Mapbiomas [homepage on the Internet]. Infográficos [cited 2020 Nov. 25]. Available from: <https://mapbiomas.org>
- Newbold JD, Elwood JW, O'neill RV, Winkle WV 1980. Measuring Nutrient Spiraling in Streams. *Can J Fish Aquatic Sci* 38(7): 860 - 863.
- Nóbrega, RLB, Guzha, AC, Lamparter, G, Amorim, RSS, Couto, EG, Hughes, HJ, Junkkunst, HF, Gerold, G 2018. Impacts of land-use and land-cover change on stream hydrochemistry in the Cerrado and Amazon biomes. *Sci. Total Environ.* 635:259-274.
- Noriega CD et al. 2017. Distribuição espacial da biomassa fitoplancônica e sua relação com os sais nutrientes, no Sistema Estuarino de Barra das Jangadas (Pernambuco – Brasil). *Arch Cien Mar* 38(1-2):5-18.
- Oliveira EZ, Fushita AT, Cunha-Santino MB, Bianchini Jr, I 2017. Water and sediment quality assessment - Ribeirão do Laranjal watershed. *Rev Cien Tecn Amb* 5(1): 30 - 39.
- Periotto, NA, Tundisi, JGA 2018. A characterization of ecosystem services, drivers and values of two watersheds in São Paulo State, Brazil. *Braz J Biol* 78(3):397-407.
- R Core Team 2018. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <https://www.R-project.org/>.
- Resende, FM, Denman, LAC, Selva, GV, Campanhão, LMB, Nobre, RLG, Jimenez, YG, Lima, EM, Niemeyer, J 2020. A conceptual model to assess the impact of anthropogenic drivers on water-related ecosystem services in the Brazilian Cerrado. *Biota Neotrop.* 20: e20190899.
- Santos JP, Martins I, Callisto M, Macedo DR 2017. Relações entre qualidade da água e uso e cobertura do solo em múltiplas escalas espaciais na bacia do Rio Pandeiros, Minas Gerais. *Rev Espinhaço* 6(2):36-46.
- São Paulo. Decreto Estadual nº 10.755, de 8 de setembro de 1977. Available from: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1977/decreto-10755-22.11.1977.html>.
- São Paulo. Decreto Estadual nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Available from: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>.
- São Paulo [homepage on the Internet]. Infográficos [cited 2020 Nov. 25]. Available from: <https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2020/07/tabela-ugrhi-inventario-florestal-if-2020.pdf>
- Silva FL, Silva GC, Fushita AT, Bianchini Jr I, Cunha-Santino MB 2017. Qualidade das águas e hemerobia do córrego do Mineirinho, São Carlos, SP. *Rev Bras Geo Fis* 11(6):1921 - 1933.
- Silva MA, Araújo RR 2017. Análise temporal da qualidade da água no córrego Limoeiro e no rio Pirapozinho no Estado de São Paulo - Brasil. *Rev Form* 1(24):182-203.
- Silva, DAL., Delai, I., Castro, MAS., Ometto, AR 2013. Quality tools applied to cleaner production programs: a first approach toward a new methodology. *J. Clean. Prod.* 47:174-187.
- Silva, FL, Stefani, MS, Smith, WS, Schiavone, DC, Cunha-Santino, MB, Bianchini Jr, I 2020. An applied ecological approach for the assessment of anthropogenic disturbances in urban wetlands and the contributor river. *Ecological Complexity* 43: 100852.



- Strahler AN 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin 63. Available from: [http://www.unc.edu/courses/2010spring/geog/591/001/students/nmey13/GEO483/Lab5/pdfs/Strahler\\_1952\\_hypsometry.pdf](http://www.unc.edu/courses/2010spring/geog/591/001/students/nmey13/GEO483/Lab5/pdfs/Strahler_1952_hypsometry.pdf).
- Strassburg, BN, Brooks, T, Feltran-Barbieri, R, Iribarrem, A, Crouzeilles, R, Loyola, R, Latawiec, AE, Oliveira-Filho, FJB, Scaramuzza, CAM, Scarano, FR, Soares-Filho, B, Balmford, A 2017. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nat. Ecol. Evol.* 1(0099):1-3.
- Tanaka MO, Souza ALT, Oliveira AK, Moschini LE 2015. Redundância entre métricas da qualidade ambiental de riachos em paisagem agrícola. *Ambi-Água* 10(4): 832 – 846.
- Trevisan, DP, Bispo, PC, Almeida, D, Imani, M, Balzter, H, Moschini, LE 2020. Environmental vulnerability index: an evaluation of the water and the vegetation quality in a Brazilian Savanna and Seasonal Forest biome. *Ecol. Indic* 112: 106163.
- Tundisi JG, Matsumura-Tundisi T 2010. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Bio Neot* 10(4): 67–75.
- Tundisi JG, Matsumura-Tundisi T, Pareschi DC, Luzia AP, Von Haeling PH, Frollini EH 2008. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. *Est Avan* 22(63): 159 – 172.
- Vannote RV, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE 1980. The River Continuum Concept. *Can J Fish Aquatic Sci* 37(1):130 - 137.
- Veras, DS, Castro, ER, Lustosa, GS, Azevêdo, CAS, Juen, L 2019. Evaluating the habitat integrity index as a potential surrogate for monitoring the water quality of streams in the cerrado-caatinga ecotone in northern Brazil. *Environ. Monit. Assess.* 191(562):1-9.
- Zeilhofer, P, Alcantara, LH, Fantim-Cruz, I 2018. Effects of Deforestation on Spatio-Temporal Runoff Patterns in the Upper Teles Pires Watershed, Mato Grosso, Brazil. *Rev. Bras. Geogr. Fís* 11(5):1889-1901.
- Zeilhofer, P, Calheiros, DF, Oliveira, MD, Dores, EFGC, Lima, GAR, Fantim-Cruz, I 2016. Temporal patterns of water quality in the Pantanal floodplain and its contributing Cerrado upland rivers: implications for the interpretation of freshwater integrity. *Wetl. Ecol. Manag.* 24:697-7