

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA:  
PETRÓLEO E MEIO AMBIENTE**

**IGOR LIMA ABOIM**

**A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A ESTRUTURA DA  
COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM UMA SÉRIE TEMPORAL DE 3 ANOS, NO  
RIO JEQUITINHONHA, BAHIA.**

Salvador  
2018

**IGOR LIMA ABOIM**

**A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A ESTRUTURA DA  
COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM UMA SÉRIE TEMPORAL DE 3 ANOS, NO  
RIO JEQUITINHONHA, BAHIA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO)  
da Universidade Federal da Bahia, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Geoquímica

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Oliveira Mafalda Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Doriedson Ferreira Gomes

Salvador  
2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lima Aboim, Igor

A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A  
ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM UMA SÉRIE  
TEMPORAL DE 3 ANOS, NO RIO JEQUITINHONHA, BAHIA. /  
Igor Lima Aboim. -- Salvador, 2018.

77 f.

Orientador: Paulo de Oliveira Mafalda Júnior.

Coorientador: Doriedson Ferreira Gomes.

Dissertação (Mestrado - Geoquímica: Petróleo e Meio  
Ambiente - POSPETRO) -- Universidade Federal da  
Bahia, Instituto de Geociências, 2018.

1. Limnologia. 2. Fitoplâncton. 3. Qualidade da  
água. I. de Oliveira Mafalda Júnior, Paulo. II.  
Ferreira Gomes, Doriedson. III. Título.

**A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A  
ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM UMA  
SÉRIE TEMPORAL DE 3 ANOS, NO RIO JEQUITINHONHA,  
BAHIA**

por

**Igor Lima Aboim**

(Oceanógrafo, Universidade Federal da Bahia - UFBA - 2015, Salvador - BA)

Orientador: **Prof. Dr. Paulo de Oliveira Mafalda Junior**

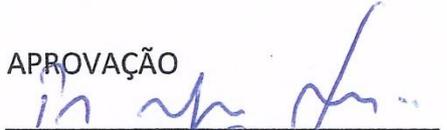
Coorientador: **Doriedson Ferreira Gomes**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

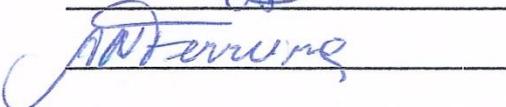
**Submetida em satisfação parcial dos requisitos do grau de  
MESTRE EM GEOQUÍMICA DO PETRÓLEO E AMBIENTAL**

À Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal da Bahia

APROVAÇÃO

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

*Prof. Dr. Paulo de Oliveira Mafalda (IBIO/UFBA)*

*Profa. Dra. Carolina de Almeida Poggio (NEA/IGEO/UFBA)*

*Profa. Dra. Aline Nogueira Ferreira Costa*

**Data da Defesa Pública: 27/04/2018**

SALVADOR-BAHIA

Abril/2018

**“A ignorância gera mais frequentemente confiança do que o conhecimento: são os que sabem pouco, e não aqueles que sabem muito, que afirmam de uma forma tão categórica que este ou aquele problema nunca será resolvido pela ciência.” (Charles Darwin).**

*Aos meus pais, que nunca mediram esforços.*

## **Agradecimentos**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida através do Programa de Pós-Graduação de Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO – UFBA).

À VERACEL, responsável pelo financiamento da coleta e análise de dados.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Paulo de Oliveira Mafalda Jr., e Prof. Dr. Doriedson Ferreira Gomes, pela contribuição inestimável para esse trabalho, pela amizade, pela confiança e pelas oportunidades. Doriedson é um grande profissional, da mais alta competência, e sempre esteve de portas abertas em caso de necessidade. Paulo se tornou um grande amigo, para além da universidade, após esses bons anos de trabalho.

Aos professores Dr. Joil José Celino e Dra. Ana Cecília Rizzatti de Albergaria Barbosa pelas dicas durante o percurso de confecção do trabalho.

Aos antigos e recentes colegas do LABPLAN, Tamires, Laura, Keisy e demais.

À toda equipe da CETREL pela coleta e análise dos dados de qualidade da água.

À “Galera do Rock Pesado” pela base sólida formada pelos muitos anos de amizade, alguns deles são verdadeiros irmãos.

À Ana Cecília, minha pequena magrela branquela.

À Karol, minha prima-irmã, sempre presente.

À meus irmãos Ian e Luma pelo amor e atenção.

À Iasmim, a mulher da minha vida.

À minha família, minha vó Terezinha, meu avô Zé Carlos (em memória), minha vó Carmem (em memória) e, finalmente, meus pais, Marisa e Luiz.

**Resumo:** A qualidade da água de rios do planeta tem sido impactada por diversas atividades antrópicas e existe uma demanda pela quantificação desses impactos. O fitoplâncton é de grande relevância ecológica em decorrência da significativa produção de matéria orgânica a partir da fotossíntese desse grupo, representando a base da cadeia alimentar, eles são considerados bons indicadores das condições físicas e químicas de águas superficiais. Nesse estudo, durante três anos (2010-2012), foi caracterizada a influência da sazonalidade sobre a qualidade da água e investigadas as comunidades fitoplanctônica e seus grupos funcionais e suas relações com a variabilidade sazonal das variáveis ambientais no rio Jequitinhonha, Bahia, Brasil. A bacia do Jequitinhonha compreende 70.315 km<sup>2</sup> e passa dois estados brasileiros, no Vale do Jequitinhonha está uma população de quase um milhão de pessoas. Esse trabalho objetivou caracterizar a qualidade da água do rio Jequitinhonha, investigar a variabilidade espaço-temporal da estrutura das comunidades e grupos funcionais fitoplanctônicos e desenvolver um modelo estatístico multivariado de ordenação indireta de gradiente capaz de correlacionar os parâmetros ambientais e a estrutura das comunidades e grupos funcionais fitoplanctônicos. Amostras de água e fitoplâncton foram coletadas e analisadas em três pontos ao longo de três anos em dois períodos (chuvoso e seco), foi realizada uma análise estatística descritiva, inferencial e multivariada (ACP e ACC). Na caracterização hidroquímica do rio, os resultados indicaram uma sazonalidade marcada pela diferença significativa entre valores dos parâmetros estudados para as estações secas e chuvosas, as variações de condutividade, temperatura, pH oxigênio dissolvido e turbidez indicam essa diferença. A sazonalidade foi ilustrada através do agrupamento dos pontos em cada uma das estações na ACP. O fitoplâncton apresentou variabilidade sazonal em sua composição, com dominância das divisões Bacillariophyta (2010 e 2011) e Chlorophyta (2012) no período seco. Os grupos funcionais do fitoplâncton também variaram entre os dois períodos, a ACC indicou que a demanda química de oxigênio, o alumínio dissolvido, a condutividade, a turbidez e os sólidos totais dissolvidos foram as principais variáveis a influenciar na distribuição espaço-temporal dos grupos funcionais.

**Palavras-chave:** Fitoplâncton, grupos funcionais, qualidade da água, rio tropical, Brasil

**Abstract:** Water quality of rivers globally has been impacted by human activities and there is a demand for quantifying these impacts. Phytoplankton has a great ecological importance since it produces high amounts of organic matter by photosynthesis, so it represents the base of the food chain. They are considered good physical and chemical surface water quality indicators. In this study, during three years (2010-2012), the seasonality influence over water quality was characterized, phytoplankton communities, functional groups variability and their relationship with environmental variables in Jequitinhonha River, Bahia, Brazil were investigated. The Jequitinhonha basin covers a 70.315 km<sup>2</sup> area and is situated along two Brazilian states. Jequitinhonha valley has close to one million habitants. This work aims to characterize the Jequitinhonha River water quality, investigate the phytoplankton communities and functional groups spatio-temporal variability and develop a multivariate statistical model capable of correlating environmental parameters with phytoplankton functional groups and communities. Water and phytoplankton samples were collected and analysed in three stations, during three years, in two seasons (rainy and dry). Descriptive, inferential and multivariate (PCA and CCA) statistical analysis were performed. In the river hydrochemical characterization, results indicated that is a seasonality marked by significant differences between studied parameters for rainy and dry seasons. Variability of conductivity, temperature, pH, dissolved oxygen and turbidity indicated the seasonality. Seasonality has been illustrated through the clustering of points in each of the seasons in the PCA. Phytoplankton showed seasonal variability in its composition, with Bacillariophyta (2010 and 2011) and Chlorophyta (2012) dominance in dry season. The phytoplankton functional groups also varied between the two seasons, the CCA indicated that chemical oxygen demand, dissolved aluminum, conductivity, turbidity and total dissolved solids have been the main variables to influence in spatio-temporal distribution of functional groups.

**Keywords:** Phytoplankton, functional groups, water quality, tropical river, Brazil.

## Sumário

Estrutura da Dissertação .....	10
Introdução geral .....	11
Justificativa .....	12
Objetivos.....	13
Metodologia Geral.....	14
Capítulo I - Caracterização hidroquímica sazonal de um grande rio tropical em uma série temporal de 3 anos.....	23
Capítulo II - A influência da qualidade da água sobre a estrutura das assembleias fitoplanctônicas, em uma série temporal de 3 anos, no rio Jequitinhonha, Bahia.....	42
Conclusões.....	76

## **Estrutura da Dissertação**

A presente dissertação está estruturada em dois capítulos como segue:

**Capítulo I - *Caracterização hidroquímica sazonal de um grande rio tropical em uma série temporal de 3 anos.***

O primeiro capítulo desta dissertação pretende fazer uma avaliação da influência da sazonalidade sobre as características hidroquímicas do Rio Jequitinhonha em sua porção pertencente ao estado da Bahia em seis campanhas de amostragem igualmente divididas entre períodos chuvosos e secos. Para isso utilizamos estatística descritiva, inferencial e multivariada (PCA).

**Capítulo II - *A influência da qualidade da água sobre a estrutura das assembleias fitoplanctônicas, em uma série temporal de 3 anos, no rio Jequitinhonha, Bahia.***

Análise da variabilidade sazonal de variáveis abióticas sobre a estrutura da comunidade do fitoplâncton e seus grupos funcionais. A utilização dos grupos funcionais do fitoplâncton como indicadores de qualidade ambiental. Utilização de estatística descritiva, inferencial e multivariada (CCA)

## Introdução geral

A qualidade da água de rios do planeta tem sido impactada por diversas atividades antrópicas e existe uma demanda pela quantificação desses impactos (Chapman et al., 2016; Meybeck, 2005). Mesmo com o aumento dos impactos antrópicos ainda há uma grande dificuldade em conseguir dados de longo prazo, fundamentais para entender o comportamento desses sistemas (Burt et al., 2014).

A qualidade da água de corpos de água doce é impactada por fatores naturais, precipitação, vazão, geologia e tipo de solo, topografia e cobertura vegetal, e antrópicos, captação de água, urbanização ou represamento, descarga industrial, agricultura ou esgotamento sanitário (Baker, 2003; Rodrigues et al., 2017). Corpos de água doce tropicais são precisamente caracterizados por forte sazonalidade, com estações chuvosas e secas bem definidas em que a precipitação é definida pela oscilação da zona de convergência intertropical (Pérez Hernández & López, 1998).

O estudo de organismos fitoplanctônicos é de grande relevância ecológica em decorrência da significativa produção de matéria orgânica a partir da fotossíntese desse grupo, representando a base da cadeia alimentar (Brandao et al., 2017; Lee, 2008). Eles são considerados bons indicadores das condições físicas e químicas de águas superficiais (Costa et al., 2009), de dinâmica regulada por processos físico-químicos (“bottom-up”) e por interações tróficas (“top-down”) (Sin et al., 2006, 1999). O fitoplâncton pode ser indicador da qualidade da água, e sua composição e diversidade refletem, não só as condições originais do sistema, mas também a sua deterioração (Castro & Huber, 2009; Hemraj et al., 2017; Ibañez & Beaugrand, 2008; Neumann-Leitão et al., 1999; Zhang et al., 2016).

A classificação do fitoplâncton a partir de seus atributos funcionais é uma maneira de compreender, descrever e prever seu comportamento em razão de quaisquer alterações no ecossistema. Reynolds et al. (2002) propôs o agrupamento de organismos fitoplanctônicos baseado em estratégias de sobrevivência como tolerância e sensibilidade a condições ambientais diferentes.

A análise da composição e abundância do fitoplâncton fornece uma informação sólida, permitindo o reconhecimento das suas preferências ecológicas, estratégias de vida e possibilitando a identificação de alterações na qualidade da água (Sathicq et al., 2016).

### **Justificativa**

A avaliação da saúde dos ecossistemas é um problema central, em função do grande impacto antrópico na biosfera, porém o número de variáveis de um ecossistema é enorme, tornando necessário a sua redução para tentar entender e analisar as mudanças geradas por esses impactos (Ibañez & Beaugrand, 2008).

A demanda por água para consumo humano está em elevação em decorrência do aumento das populações humanas. A deterioração da qualidade da água se tornou um sério problema em muitos países (Boyd, 2015).

Estudos (Baker, 2003; Burt et al., 2014; Rangel-peraza et al., 2009) indicam que as variáveis físicas e químicas de um rio sofrem influência variabilidade sazonal da precipitação, temperatura do ar, radiação solar e dos usos humanos diversos dos recursos hídricos (ex: recreativo, agrícola, industrial e pesqueiro).

Numerosos estudos têm sido conduzidos ao redor do globo para estudar a dinâmica do fitoplâncton em relação a diferentes condicionantes, entretanto, ainda não há consenso

acerca dos fatores limitantes para o desenvolvimento fitoplanctônico em corpos de água corrente. (Nazeer et al., 2018).

O conhecimento a respeito da composição e dinâmica do fitoplâncton em ecossistemas tropicais ainda é restrito, sendo uma boa parte desses estudos relacionados ao fitoplâncton marinho ou costeiro. Portanto, uma abordagem que correlaciona dados de qualidade da água e da estrutura da comunidade do fitoplâncton e seus grupos funcionais pode servir de modelo para nortear o conhecimento das dinâmicas de processos ecossistêmicos, conhecimento da biodiversidade e produzir respostas para a crescente pressão antrópica sobre esses sistemas.

## **Objetivos**

### **Objetivo Geral**

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar os efeitos da variabilidade sazonal da qualidade da água sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica do rio Jequitinhonha para os anos de 2010 a 2012.

### **Objetivos específicos**

- I. Caracterizar a qualidade da água do rio Jequitinhonha através da análise de variáveis físico-químicas, nutrientes, matéria orgânica, metais e óleos e graxas.
- II. Investigar a variabilidade espaço-temporal da estrutura da comunidade fitoplanctônica através da composição, abundância relativa, frequência de ocorrência, densidade, riqueza e diversidade;
- III. Desenvolver um modelo estatístico multivariado de ordenação indireta de gradiente capaz de correlacionar os parâmetros ambientais e a estrutura da comunidade fitoplanctônica;

## Metodologia Geral

### Área de estudo

A bacia do Jequitinhonha compreende 70.315 km<sup>2</sup> e passa por 70 municípios 63 no estado de Minas Gerais (MG) e 7 no estado da Bahia(BA), no Vale do Jequitinhonha está uma população de 977,8 mil pessoas (IBGE, 2010). A qualidade das águas do baixo Jequitinhonha é monitorada anualmente, por órgãos ambientais dos estados de MG e BA (Gerência de Monitoramento de Qualidade das Águas - IGAM, 2016; INEMA, 2015)

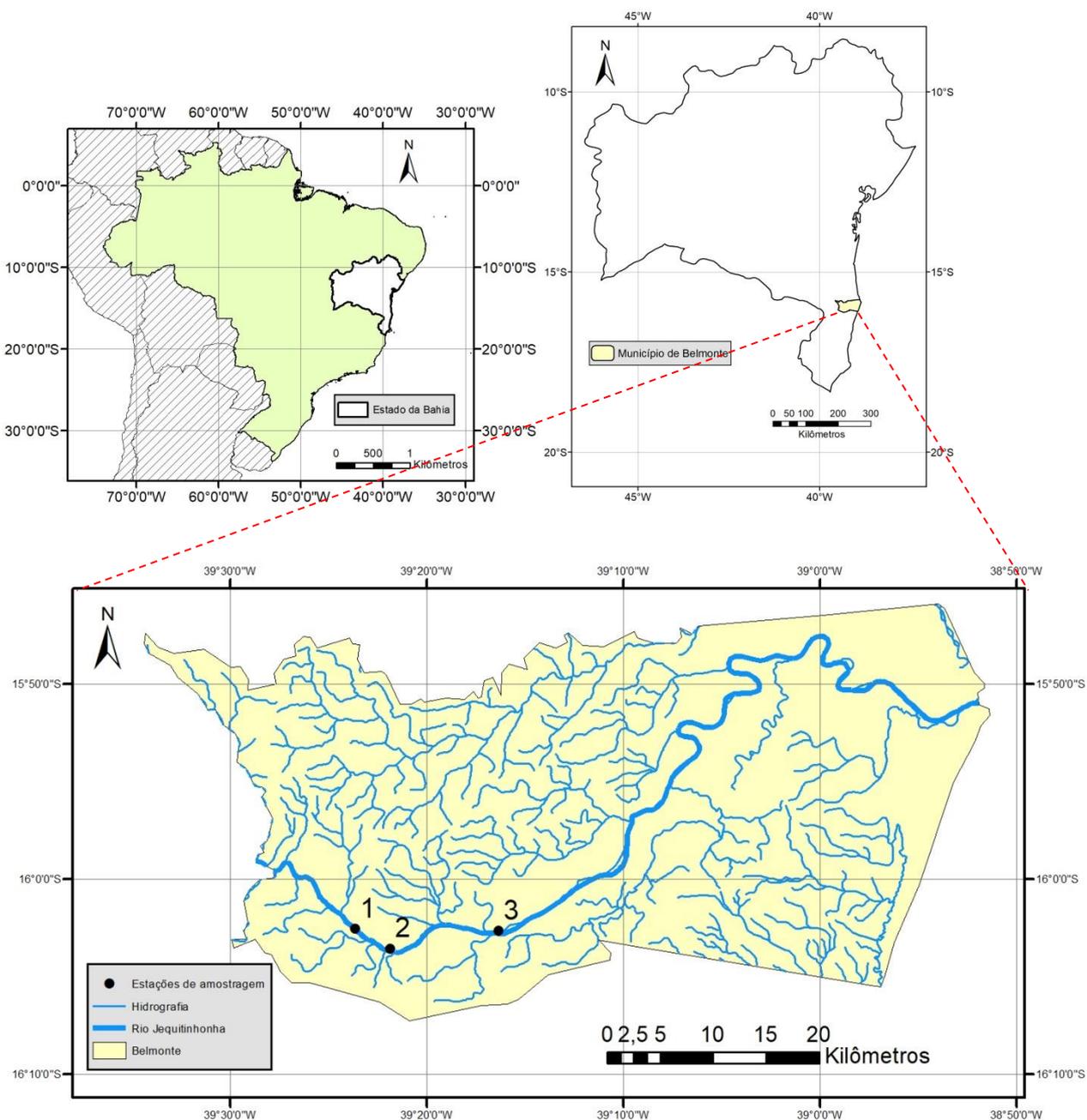
Há a descarga de efluentes de uma indústria de papel e celulose na região estudada, bem como a utilização de terras para fins agrícolas nas margens do rio. A indústria de papel e celulose é a sexta mais poluidora do mundo, descarregando uma variedade de gases, líquidos e sólidos sobre o ambiente (Ali and Sreerishnan, 2001).

O clima da região é considerado tropical oceânico, com pluviosidade entre 1250 a 2000 mm/ano. O trimestre mais chuvoso é entre os meses de fevereiro e abril, com valores entre 450 e 600 mm e concentra 30 a 35% da precipitação total anual. O trimestre mais seco é agosto, setembro e outubro, com valores entre 150 e 200 mm, concentrando de 8 a 21% da precipitação anual. A evapotranspiração apresenta valores altos, superiores a 1200 mm/ano, as deficiências tendem a zero em direção a foz e os excedentes hídricos são elevados durante todo o ano (Pereira et al., 2018)

Do ponto de vista hidroquímico as águas que circulam na porção baiana do rio Jequitinhonha apresentam baixa concentração salina. No período entre 2008 e 2015 o curso apresentou Índices de Qualidade de Água (IQA) entre bom e ótimo e Índice de Estado Trófico variando entre hipereutrófico e ultraoligotrófico (INEMA, 2015).

## Delineamento amostral

Para esse estudo no Rio Jequitinhonha, foi determinada a seguinte malha amostral, levando como referência o curso médio do rio na região, conforme exposto na **Figura 1**.



**Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.**

As campanhas de amostragem componentes deste estudo de monitoramento foram realizadas entre 2010 e 2012, nos meses de fevereiro (período chuvoso) e agosto

(período seco). Desta forma foi analisada uma série temporal de período chuvoso de três anos e outra de período seco com a mesma duração.

A coleta do fitoplâncton foi realizada em subsuperfície, em galões de cinco litros. A contagem foi realizada em câmara de sedimentação de Utermöhl (1958), após um tempo mínimo de 24 horas de sedimentação. O procedimento de contagem dos organismos foi o de quadrículas sorteadas (Uehlinger, 1964). O método adotado foi o da contagem de 100 indivíduos da espécie mais abundante. Esta metodologia permite trabalhar com intervalos de confiança de +/- 20 % da média, a um nível de significância de 95 %, o que é considerado como suficiente para estudos desta natureza (Lund et al., 1958). Os resultados foram expressos em organismos por mL, calculado pela fórmula:

$$N = n \cdot A/a \cdot 1/V$$

Onde:

N = Número de organismos por mL

n = Número de organismos contados

a = Área contada

A = Área total da câmara

V = Volume total sedimentado

Os grupos funcionais do fitoplâncton e suas associações foram definidos de acordo com Padišák et al. (2009) e Reynolds et al. (2002) e foram determinados considerando os *taxa* que contribuíram com pelo menos 1% da densidade total de cada amostra.

A obtenção dos dados de qualidade da água, bem como os procedimentos de coleta e preservação das amostras foram baseados nas metodologias estabelecidas no *Standard*

*Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21ª edição, ou outras normas padronizadas e reconhecidas, conforme descrito na **Tabela 1**.

**Tabela 1: Parâmetros analisados na matriz água, metodologias de análise, e limites de detecção dos métodos empregados.**

VARIÁVEL (unidade)	Abreviação	Metodologia utilizada	Limite mínimo de detecção (LD)
pH	pH	---	---
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	OD	---	---
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	STD	2540 P.2-58	3
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	COND	2510 B	1
Demanda biológica de oxigênio (mg/L)	DBO	5210 B	2
Turbidez (NTU)	TUR	2130 B	0,9
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	TEMP	---	---
Demanda química de oxigênio (mg/L)	DQO	5220 D	5
Fósforo Total (mg/L)	P	4500 C	0,1
Nitrogênio Total (mg/L)	N	4500 A	0,5
Halometanos ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	AOX	SCAN Standard - W 9:89	10
Sódio (mg/L)	NA	3120 B	0,01
Cálcio (mg/L)	CA	3120 B	0,01
Ferro dissolvido (mg/L)	FE	3120 B	0,01
Alumínio (mg/L)	AL	3120 B	0,01
Óleos e Graxas (mg/L)	OLEO	5520 D	0,4

As mensurações dos parâmetros físico-químicos: pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido foram realizados *in situ* com leituras subsuperficiais.

Os dados de precipitação foram obtidos do banco de dados do INEMA (INEMA 2018).

As amostras destinadas às diversas variáveis químicas (**Tabela 1**) foram coletadas subsuperficialmente e acondicionadas em recipientes de polietileno com capacidade para 3L e recipientes âmbar com capacidade para 1L, preservadas (quando necessário),

mantidas sobre refrigeração e encaminhadas ao laboratório da CETREL, ou laboratório subcontratado, para o processamento analítico dos parâmetros.

Foram adotados para o estudo parâmetros físicos, químicos e biológicos que permitem caracterizar a qualidade da água.

Para os dados mensais de precipitação foram realizados os testes de Kruskal-Wallis para cada um dos períodos e o teste de Mann-Whitney.

Foram realizadas análises estatísticas descritivas, inferenciais e multivariadas para os dados ambientais e biológicos através dos programas Bioestat versão 5.0, Microsoft Excel 2010, CANOCO 4.5 e R 3.4.4 (R Foundation for Statistical Computing, 2018).

## Referências

Ali M, Sreekrishnan T. Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review.

Adv Environ Res 2001;5:175–96. doi:10.1016/S1093-0191(00)00055-1.

Baker A. Land use and water quality. Hydrol Process 2003;17:2499–501.

doi:10.1002/hyp.5140.

Boyd CE. Water Quality: An Introduction. 2nd ed. Springer International Publishing; 2015.

Brandao IL de S, Mannaerts CM, Saraiva ACF. Seasonal variation of phytoplankton indicates small impacts of anthropic activities in a Brazilian Amazonian reserve.

Ecohydrol Hydrobiol 2017;17:217–26. doi:10.1016/J.ECOHYD.2017.04.001.

Burt TP, Howden NJK, Worrall F. On the importance of very long-term water quality records. Wiley Interdiscip 2014;1:41–8. doi:10.1002/wat2.1001.

Castro P, Huber M. Marine Biology. 8th ed. McGraw-Hill Science/Engineering/Math;

2009.

Chapman D V., Bradley C, Gettel GM, Hatvani IG, Hein T, Kovács J, et al.

Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example. *Environ Sci Policy* 2016;64:141–54.

doi:10.1016/j.envsci.2016.06.015.

Costa LS, Huszar VLM, Ovalle AR. Phytoplankton functional groups in a tropical estuary: Hydrological control and nutrient limitation. *Estuaries and Coasts*

2009;32:508–21. doi:10.1007/s12237-009-9142-3.

Gerência de Monitoramento de Qualidade das Águas - IGAM. BOLETIM ANUAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO E BAIXO RIO JEQUITINHONHA 2016.

Hemraj DA, Hossain MA, Ye Q, Qin JG, Leterme SC. Plankton bioindicators of environmental conditions in coastal lagoons. *Estuar Coast Shelf Sci* 2017;184:102–14.

doi:10.1016/j.ecss.2016.10.045.

Ibañez F, Beaugrand G. Monitoring marine plankton ecosystems: Identification of the most relevant indicators of the state of an ecosystem. *J Mar Syst* 2008;73:138–54.

doi:10.1016/j.jmarsys.2007.10.005.

IBGE. Censo 2010 2010. <https://censo2010.ibge.gov.br/> (accessed February 6, 2018).

INEMA. Relatório de Informações Hidrológicas e Meteorológicas.

Monitoramento.inema.ba.gov.br/planilhas/plu/ 2018.

INEMA. Programa Monitora: Relatório Anual de Qualidade das Águas do Estado da Bahia - Ano 2015 2015.

Lee RE. *Phycology*. Fourth. Cambridge University Press; 2008.

Lund JWG, Kipling C, Le Cren ED. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 1958;11:143–70. doi:10.1007/BF00007865.

Meybeck M. Looking for water quality. *Hydrol Process* 2005;19:331–8. doi:10.1002/hyp.5778.

Nazeer S, Khan MU, Malik RN. Phytoplankton Spatio-temporal dynamics and its relation to nutrients and water retention time in multi-trophic system of Soan River, Pakistan. *Environ Technol Innov* 2018;9:38–50. doi:10.1016/j.eti.2017.10.005.

Neumann-Leitão S, Souza MRM, Porto Neto FF, Moura MCO, Silva AP, Gusmão LMO. Zooplâncton do estuário do rio São Francisco, Nordeste do Brasil. *Trab Ocean Da Univ Fed Do Pernambuco* 1999:33–54.

Padisák J, Crossetti LO, Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: A critical review with updates. *Hydrobiologia* 2009;621:1–19. doi:10.1007/s10750-008-9645-0.

Pereira PRB, Diniz HN, Gutjahr MR, Menegasse LN, Oliveira FR, Duarte U. O ZONEAMENTO CLIMÁTICO NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA, ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL 2018.

Pérez Hernández D, López JL. Alguno aspectos relevantes de la hidrología del Río Orinoco. *El Río Orinoco*, 1998, p. 138–154.

Rangel-peraza G, Erickson D, Anda J De, Gonza F. Statistical assessment of water quality seasonality in large tropical reservoirs 2009:315–23. doi:10.1111/j.1440-1770.2009.00412.x.

Reynolds CS, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores L, Melo S. Review Towards a

functional classification of the freshwater phytoplankton. *J Plankton Res* 2002;24:417–28. doi:10.1093/plankt/24.5.417.

Rodrigues V, Estrany J, Ranzini M, de Cicco V, Martín-Benito JMT, Hedo J, et al. Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil). *Sci Total Environ* 2017;622–623:1553–61. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.10.028.

Sathicq MB, Gómez N, Bauer DE, Donadelli J. Use of phytoplankton assemblages to assess the quality of coastal waters of a transitional ecosystem: Río de la Plata estuary. *Cont Shelf Res* 2016. doi:10.1016/j.csr.2016.08.009.

Sin Y, Wetzel RL, Anderson IC. Spatial and Temporal Characteristics of Nutrient and Phytoplankton Dynamics in the York River Estuary, Virginia: Analyses of Long-Term Data. *Estuaries* 1999;22:260. doi:10.2307/1352982.

Sin Y, Wetzel RL, Lee BG, Kang YH. Integrative ecosystem analyses of phytoplankton dynamics in the York River estuary (USA). *Hydrobiologia* 2006;571:93–108. doi:10.1007/s10750-006-0232-y.

Team RC, (R Foundation for Statistical Computing). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* 2018.

Uehlinger V. *Etude statistique des méthodes de dénombrement planctonique*. impr. A. Kundig; 1964.

Utermöhl H. *Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik*. Stuttgart, Germany: Schweizerbart Science Publishers; 1958.

Zhang Y, Shi K, Liu J, Deng J, Qin B, Zhu G, et al. Meteorological and hydrological conditions driving the formation and disappearance of black blooms, an ecological

disaster phenomena of eutrophication and algal blooms. *Sci Total Environ* 2016;569–570:1517–29. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.06.244.

## Capítulo I

### CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA SAZONAL DE UM GRANDE RIO TROPICAL EM UMA SÉRIE TEMPORAL DE 3 ANOS.



Fonte: <http://www.belmontebahia.com>

## CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA SAZONAL DE UM RIO GRANDE TROPICAL EM UMA SÉRIE TEMPORAL DE 3 ANOS.

IGOR LIMA ABOIM<sup>13</sup>, DORIEDSON FERREIRA GOMES<sup>2</sup>, PAULO DE OLIVEIRA  
MAFADAL JÚNIOR<sup>13</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente. Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina, Salvador, BA, Brasil. CEP: 40170-115.

<sup>2</sup> Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Biologia, Laboratório de Paleoeecologia (EcoPaleo).

<sup>3</sup> Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Biologia, Laboratório de Plâncton (LABPLAN).

Email: igoraboim@gmail.com

### **Resumo**

A demanda por água para consumo humano é crescente, a qualidade da água se tornou uma questão-chave para muitas áreas do conhecimento. Características físicas e químicas da água são capazes de influenciar todo o ciclo de vida e o comportamento dos organismos aquáticos. Corpos de água doce tropicais são precisamente caracterizados por forte sazonalidade, com estações chuvosas e secas bem definidas. Esse trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da sazonalidade sobre a qualidade da água do Rio Jequitinhonha com base em características físico-químicas da água. Foi analisada uma série temporal de período chuvoso e seco durante três anos. Foram realizadas análises estatísticas descritivas, inferenciais e multivariadas (ACP). Foram encontradas diferenças sazonais significativas para todas as variáveis analisadas à exceção do ferro dissolvido, sólidos totais dissolvidos e sódio total. A análise de componentes principais demonstrou uma sazonalidade marcante no agrupamento das amostras de cada período. Foi possível observar que variáveis relevantes para a saúde do ecossistema como a

temperatura, condutividade, pH, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, tiveram variabilidade significativa entre os períodos.

## **Abstract**

The water demand for human use is increasing; water quality has become a key issue to many knowledge fields. Physical and chemical water properties are capable of influence on whole life cycle and behavior of aquatic organisms. Tropical freshwater bodies are precisely defined by strong seasonality, with well-defined rainy and dry seasons. This work aims to evaluate the effect of seasonality over the Rio Jequitinhonha's water quality based on physical-chemical characteristics. Three years' time series for rainy and dry seasons were analyzed. Descriptive, inferential and multivariate analysis (PCA) were performed. Significant seasonal differences were found for all variables except for dissolved iron, total dissolved solids, and total sodium. Principal component analysis showed marked seasonality through seasonal sample clustering. It was possible to observe that relevant variables for ecosystem health like temperature, conductivity, pH, dissolved oxygen and chemical oxygen demand had significant variability between the two seasons.

## **Introdução**

A avaliação da saúde dos ecossistemas é um problema central, em função do grande impacto antrópico na biosfera, porém o número de variáveis de um ecossistema é enorme, tornando necessário a sua redução para tentar entender e analisar as mudanças geradas por esses impactos (Ibañez and Beaugrand, 2008).

A qualidade da água é uma questão-chave para muitas áreas do conhecimento (abastecimento de água, tratamento de efluentes, indústria, aquicultura, ecologia, saúde humana e animal) (Boyd, 2015). Todo o ciclo de vida e o comportamento de

organismos aquáticos são influenciados pelas propriedades físicas e químicas da água (Tundisi and Matsumura, 2011).

A demanda por água para consumo humano está em elevação em decorrência do aumento das populações humanas. A deterioração da qualidade da água se tornou um sério problema em muitos países (Boyd, 2015)

A qualidade da água de rios do planeta tem sido impactada por diversas atividades antrópicas e existe uma demanda pela quantificação desses impactos. (Chapman et al., 2016; Meybeck, 2005). Mesmo com o aumento dos impactos antrópicos ainda há uma grande dificuldade em conseguir dados de longo prazo, fundamentais para entender o comportamento desses sistemas. (Burt et al., 2014). A qualidade da água de corpos de água doce é impactada por fatores naturais, precipitação, vazão, geologia e tipo de solo, topografia e cobertura vegetal; e antrópicos, captação de água, urbanização ou represamento, descarga industrial, agricultura ou esgotamento sanitário (Baker, 2003; Rodrigues et al., 2017).

O escoamento superficial é um fenômeno sazonal, muito afetado pelo clima da bacia hidrográfica (Singh, P., Haritashya, U.K., Kumar, 2004). Corpos de água doce tropicais são precisamente caracterizados por forte sazonalidade, com estações chuvosas e secas bem definidas em que a precipitação é definida pela oscilação da zona de convergência intertropical (Pérez Hernández and López, 1998).

Estudos (Baker, 2003; Burt et al., 2014; Rangel-peraza et al., 2009) indicam que as variáveis físicas e químicas de um rio sofrem influência da variabilidade sazonal da precipitação, temperatura do ar, radiação solar e dos usos humanos diversos dos recursos hídricos (ex.: recreativo, agrícola, industrial e pesqueiro).

A hipótese desse trabalho é a de que a sazonalidade tem influência sobre as características físicas e químicas de um rio tropical.

Os objetivos deste trabalho são avaliar o efeito da sazonalidade sobre a qualidade da água do Rio Jequitinhonha e caracterizar a qualidade físico-química da água durante o período de 2010 a 2012.

## **Metodologia**

### **Área de estudo**

A bacia do Jequitinhonha compreende 70.315 km<sup>2</sup> e passa por 70 municípios 63 no estado de Minas Gerais (MG) e 7 no estado da Bahia (BA), no Vale do Jequitinhonha está uma população de 977,8 mil pessoas (IBGE, 2010). A qualidade das águas do baixo Jequitinhonha é monitorada anualmente, por órgãos ambientais dos estados de MG e BA (IGAM, 2016; INEMA, 2015).

Há a descarga de efluentes de uma indústria de papel e celulose na região estudada, bem como a utilização de terras para fins agrícolas nas margens do rio. A indústria de papel e celulose é a sexta mais poluidora do mundo, descarregando uma variedade de gases, líquidos e sólidos sobre o ambiente (Ali and Sreekrishnan, 2001).

O clima da região é considerado tropical oceânico, com pluviosidade entre 1250 a 2000 mm/ano, o trimestre mais chuvoso é entre os meses de fevereiro e abril, com valores entre 450 e 600 mm e concentra 30 a 35% da precipitação total anual. O trimestre mais seco é agosto, setembro e outubro, com valores entre 150 e 200 mm, concentrando de 8 a 21% da precipitação anual. A evapotranspiração apresenta valores altos, superiores a 1200 mm/ano, as deficiências tendem a zero em direção a foz e os excedentes hídricos são elevados durante todo o ano (Pereira et al., 2018)

Do ponto de vista hidroquímico as águas que circulam na porção baiana do rio Jequitinhonha apresentam baixa concentração salina. No período entre 2008 e 2015 o curso apresentou Índices de Qualidade de Água (IQA) entre bom e ótimo e Índice de Estado Trófico variando entre hipereutrófico e ultraoligotrófico (INEMA, 2015).

### Pontos de amostragem e procedimentos de laboratório

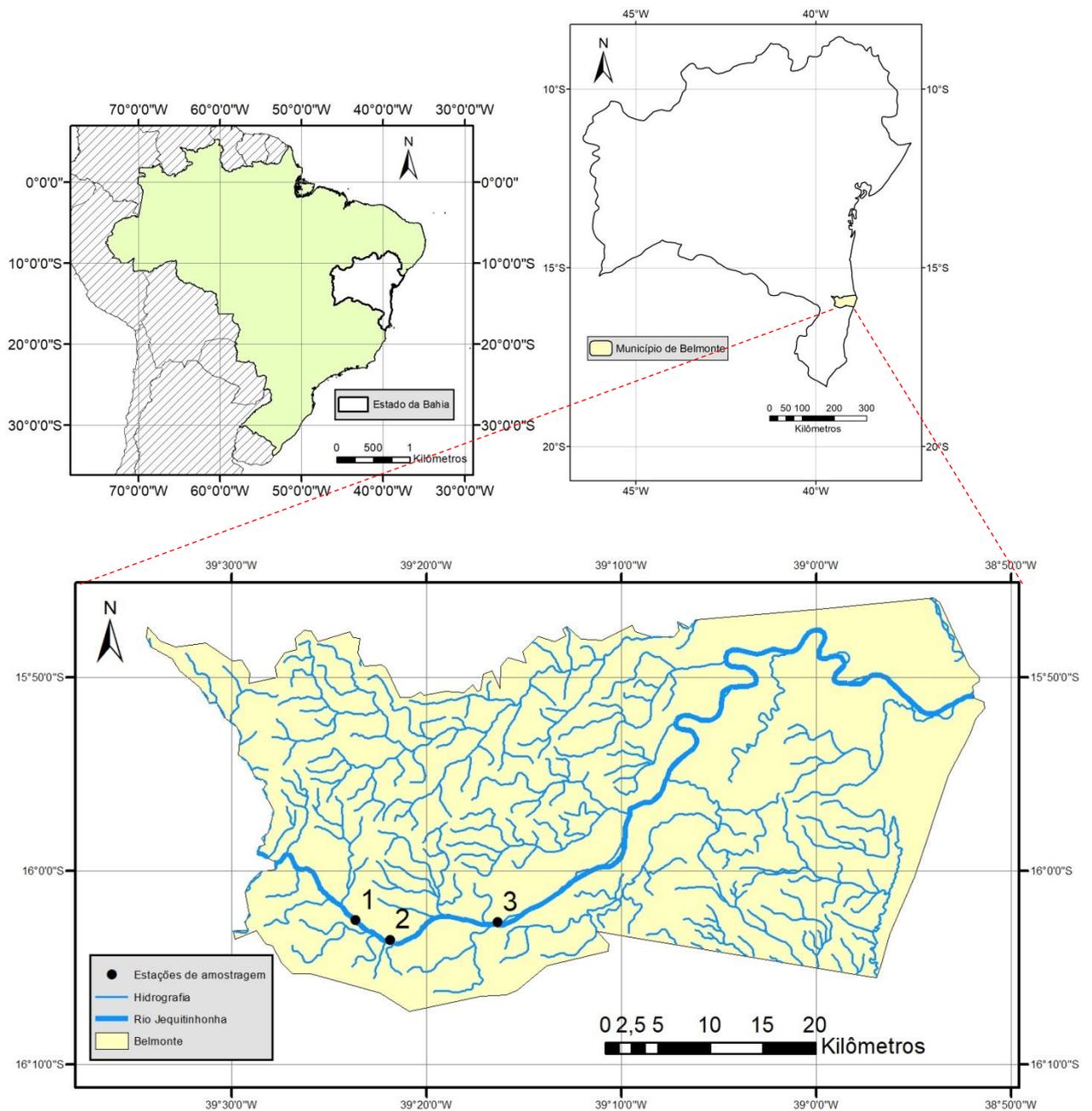


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo.

Para esse estudo foi determinada a seguinte malha amostral, levando como referência o curso médio do rio na região, conforme exposto na **Figura 2**.

As campanhas de amostragem componentes deste estudo de monitoramento foram realizadas entre 2010 e 2012, nos meses de fevereiro (período chuvoso) e agosto (período seco). Desta forma foi analisada uma série temporal de período chuvoso de três anos e outra de período seco com a mesma duração.

**Tabela 2: Parâmetros analisados na matriz água, metodologias de análise, e limites de detecção dos métodos empregados.**

VARIÁVEL (unidade)	Abreviação	Metodologia utilizada	Limite mínimo de detecção (LD)
pH	pH	---	---
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	OD	---	---
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	STD	2540 P.2-58	3
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	COND	2510 B	1
Demanda biológica de oxigênio (mg/L)	DBO	5210 B	2
Turbidez (NTU)	TUR	2130 B	0,9
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	TEMP	---	---
Demanda química de oxigênio (mg/L)	DQO	5220 D	5
Fósforo Total (mg/L)	P	4500 C	0,1
Nitrogênio Total (mg/L)	N	4500 A	0,5
Halometanos ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	AOX	SCAN Standard - W 9:89	10
Sódio (mg/L)	NA	3120 B	0,01
Cálcio (mg/L)	CA	3120 B	0,01
Ferro dissolvido (mg/L)	FE	3120 B	0,01
Alumínio (mg/L)	AL	3120 B	0,01
Óleos e Graxas (mg/L)	OLEO	5520 D	0,4

Os dados de qualidade da água, bem como os procedimentos de coleta e preservação das amostras foram baseados nas metodologias estabelecidas no *Standard Methods for*

*the Examination of Water and Wastewater*, 21ª edição, ou outras normas padronizadas e reconhecidas, conforme descrito na **Tabela 2**.

As mensurações dos parâmetros físico-químicos: pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido foram realizados *in situ* com leituras sub-superficiais.

As amostras destinadas às diversas variáveis químicas foram coletadas subsuperficialmente e acondicionadas em recipientes de polietileno com capacidade para 3L e recipientes âmbar com capacidade para 1L, preservadas (quando necessário), mantidas sobre refrigeração e encaminhadas ao laboratório da CETREL, ou laboratório subcontratado, para o processamento analítico dos parâmetros.

Foram adotados para o estudo parâmetros físicos, químicos e biológicos que permitem caracterizar a qualidade da água, assim como um possível grau de contaminação nos pontos de coleta.

Foram realizadas análises estatísticas descritivas, inferenciais e multivariadas para os dados ambientais através dos programas Bioestat versão 5.0 e Microsoft Excel 2010 e Canoco 4.5. Foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, a construção de gráficos Box-Plot e a análise de componentes principais (PCA).

## **Resultados**

### **Precipitação**

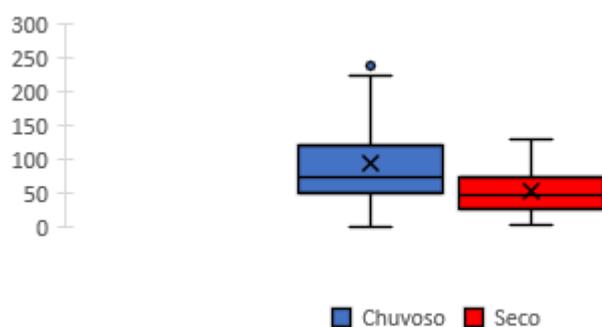
A precipitação média anual no período amostrado foi de 896,4 mm, com média mensal no período chuvoso de 97,8 (outubro a março) e no período seco de 53,1 (abril a setembro) (**Figura 3**). Os dados de precipitação apresentaram variabilidade não significativa entre os anos ( $p > 0,05$ ) e significativa entre os períodos chuvoso e seco ( $p < 0,05$ ).

### Parâmetros de qualidade da água

As variáveis demanda biológica de oxigênio, nitrogênio total e fósforo total não apresentaram valores e não foram levadas em conta na análise estatística descritiva, inferencial e multivariada.

A **Figura 3** **Figura 3: Gráfico box-plot (média, desvios padrões, máximos e mínimos) da precipitação do município do município de Belmonte- BA.** mostra os gráficos box-plot para a média e desvios padrões de cada variável para o período chuvoso e período seco e para cada ano.

No período chuvoso a média da temperatura foi de 28,7 °C enquanto no período seco foi de 24,2°C. O pH teve diferença de 0,3 entre as médias do período chuvoso e seco, com 7,4 no chuvoso e 7,1 no seco. Para a turbidez e o demanda química de oxigênio as diferenças entre as médias também foram significativas, com 53,6 de turbidez no período chuvoso e 12,7 no seco e para o demanda química de oxigênio 25,0 e 6,1 respectivamente.



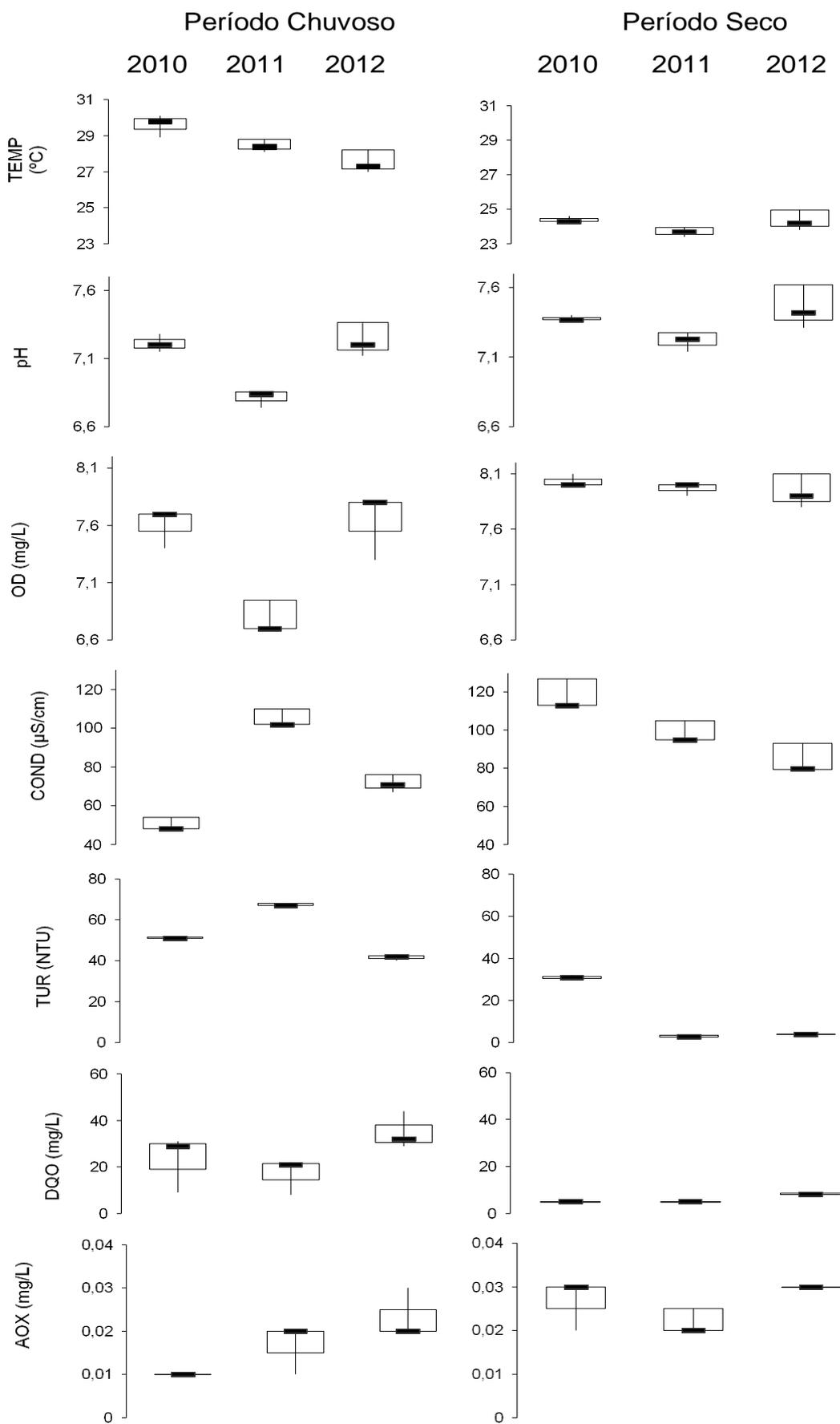
**Figura 3: Gráfico box-plot (média, desvios padrões, máximos e mínimos) da precipitação do município do município de Belmonte- BA.**

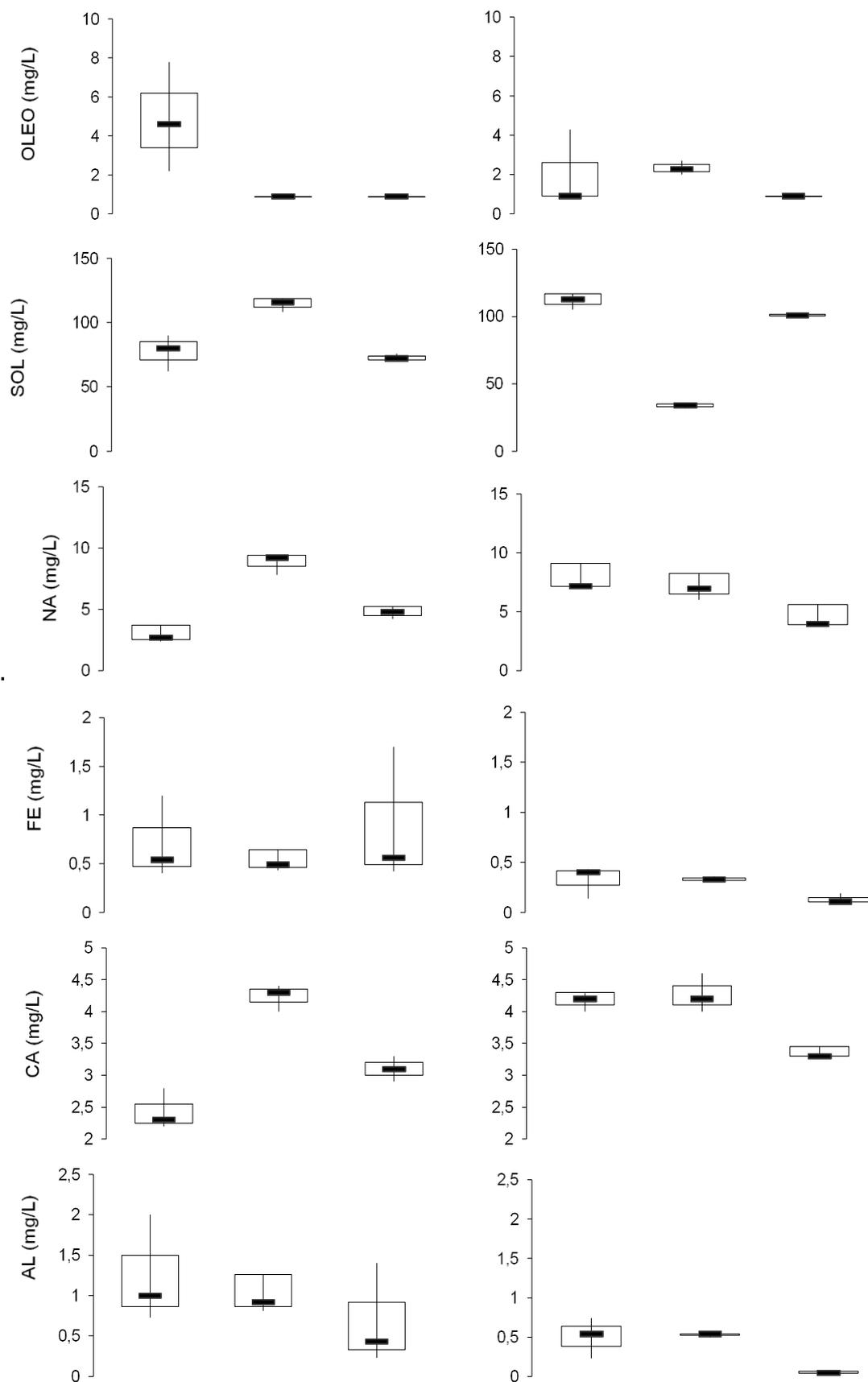
### Interação entre os parâmetros e os anos ou estações.

Na anova fatorial a x b foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os anos para quase todas as variáveis a exceção da temperatura, ferro dissolvido e alumínio dissolvido. Também foram encontradas diferenças significativas sazonais para quase todas as variáveis exceto ferro dissolvido, sólidos totais dissolvidos e sódio total. Na análise da interação entre os blocos e os tratamentos foram encontradas diferenças significativas para oxigênio dissolvido, condutividade, turbidez, carbono orgânico total, sólidos totais dissolvidos, sódio total e cálcio total (**Tabela 3**)

**Tabela 3: Valores de p na ANOVA fatorial a x b. Os valores de  $P < 0,05$  em negrito.**

Variável	P (Tratamentos) “entre os anos”	P (Blocos) “Sazonal”	P (Interação)
TEMP	0.1181	< <b>0.0001</b>	0.0845
pH	<b>0.0031</b>	<b>0.0027</b>	0.3816
OD	<b>0.0096</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0208</b>
COND	<b>0.0111</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0005</b>
TUR	< <b>0.0001</b>	< <b>0.0001</b>	< <b>0.0001</b>
COT	<b>0.001</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0035</b>
DQO	<b>0.0458</b>	<b>0.0002</b>	0.2068
AOX	<b>0.0226</b>	<b>0.001</b>	0.1469
OLEO	<b>0.0227</b>	0.501	0.0596
SOL	<b>0.0017</b>	0.1242	< <b>0.0001</b>
NA	<b>0.0109</b>	0.1023	<b>0.0093</b>
FE	0.9387	<b>0.0156</b>	0.5521
CA	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0002</b>
AL	0.1225	<b>0.0071</b>	0.9482





**Figura 4: Gráficos box-plot para as médias, desvios padrões, máximos e mínimos dos parâmetros de qualidade da água**



carbono orgânico total, demanda química de oxigênio, carbono orgânico total e oxigênio dissolvido tiveram maior peso negativo. Os demais fatores e variáveis aparecem na **Figura 5**.

## Discussão

Estudar a sazonalidade da qualidade da água de um rio é um desafio do ponto de vista metodológico. A análise da água precisa ser feita a partir de análises químicas de água coletada em uma escala de tempo discrepante, de segundos ou minutos, os fatores que afetam essas variáveis, como o uso do solo ou a descarga de efluentes, também podem sofrer alterações temporais de ordem de grandeza menor que a proposta por esse artigo (Kirchhoff et al., 2017; Rodrigues et al., 2017). Por isso é importante avaliar dados sazonais em longo prazo, para conseguir reduzir o erro associado (Baker, 2003; Meybeck, 2005). No entanto, essa pesquisa indica que há um impacto da sazonalidade sobre a qualidade da água na área de estudo. O presente estudo revela uma diferença significativa entre valores dos parâmetros estudados para as estações seca e chuvosa.

Diversos estudos demonstram que essa sazonalidade da qualidade da água pode estar associada a utilização agrícola das terras adjacentes ou a variação da precipitação e, por consequência, a vazão do rio (Baker, 2003; Kirchhoff et al., 2017; Meybeck, 2005; Rodrigues et al., 2017). A descarga de efluentes é um fator importante no controle dos parâmetros de qualidade da água e existe uma relação entre a descarga e a distância do ponto analisado sobre a qualidade da água (Rodrigues et al., 2017; Slattery et al., 2002). A sazonalidade marcante de regiões tropicais, com períodos chuvosos e secos bem definidos, influencia os resultados encontrados. Rangel-peraza et al. (2009) mostrou que a sazonalidade tem impacto significativo sobre a qualidade da água em grandes reservatórios.

Segundo Rodrigues et al. (2017), a sazonalidade tem efeito significativo sobre a qualidade da água em uma bacia hidrográfica tropical. Nesse sentido, as variações de condutividade, temperatura e de pH indicam a influência da sazonalidade e os efeitos da diluição no período chuvoso.

Segundo HELLAWELL (1986), a variação do pH de águas superficiais pode ter causas naturais, influenciadas pela mineralogia dos sedimentos carreados pelo escoamento superficial, ou por atividade antrópica (ex.: efluentes industriais, chuva ácida) e pode ter efeitos relevantes sobre organismos. O pH demonstra o grau de acidez da água, tendo influência sobre a dissolução de íons, matéria orgânica e metais tóxicos, potencialmente impactantes na biota (Nienie et al., 2017). Os valores mais baixos de pH no período chuvoso estão provavelmente relacionados a influência da maior precipitação acumulada (Nienie et al., 2017).

A variabilidade de oxigênio dissolvido e turbidez entre os períodos chuvoso e seco também indicam sazonalidade. O oxigênio dissolvido foi mais alto no período seco. O oxigênio é um elemento chave nos processos metabólicos de peixes e invertebrados (Hellawell, 1986), a elevação no período seco pode ser explicada pelo aumento no aporte de nutrientes de fontes pontuais (ex.: efluentes industriais, urbanos) e não pontuais (ex.: escoamento superficial) aumentando a produção primária e o desenvolvimento de bactérias e fungos heterotróficos (Zheng and Paul, 2009). A turbidez teve valores mais altos no período chuvoso. A turbidez tem efeito sobre a espessura da camada eufótica, afetando diretamente a produção primária e agindo como condição limitante para determinados grupos de algas (Reynolds, 2006).

A sazonalidade fora ilustrada através do agrupamento dos pontos em cada uma das estações na análise de componentes principais, a análise ainda mostra um agrupamento entre o sódio total, o cálcio total e a condutividade, o que pode ser explicado pela

natureza condutividade, uma variável dependente da presença de cátions e ânions na água (Boyd, 2015; Tundisi and Matsumura, 2011). A proximidade do carbono orgânico total e da demanda química de oxigênio é explicada por uma forte relação entre as duas variáveis, inclusive sendo sugerido, por Dubber & Gray (2010), a utilização do carbono orgânico total como método para estimar a presença de substâncias orgânicas na água.

## **Conclusões**

Esse estudo demonstrou as respostas da qualidade da água, em um grande rio tropical, a variações climáticas e hidrológicas sazonais e interanuais. Baseado nos métodos estatísticos utilizados, uma resposta sazonal dos parâmetros da qualidade da água foi identificada.

Na análise multivariada ainda é possível identificar que há um agrupamento entre a coleta no período seco e no período chuvoso, apresentando uma sazonalidade marcante.

Foi possível observar que variáveis relevantes para a saúde do ecossistema como a temperatura, condutividade, pH, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, tiveram variabilidade significativa entre os períodos.

Esse trabalho pode ser aplicado para compreensão da dinâmica de bacias hidrográficas tropicais e aplicação de modelos estatísticos que busquem avaliar a qualidade da água

É sugerido para futuros estudos que seja feita uma correlação entre os dados do rio com o estuário do Jequitinhonha para que se possa avaliar a influência da hidroquímica do rio sobre o estuário.

## **Agradecimentos**

VERACEL papel e celulose, responsável por financiar o monitoramento hídrico. CETREL por realizar a coleta e análise da água, CAPES pelo financiamento da bolsa de

mestrado, POSPETRO pela oportunidade e finalmente, toda a equipe do LABPLAN e associados.

## Referências

Ali M, Sreekrishnan T. Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review. *Adv Environ Res* 2001;5:175–96. doi:10.1016/S1093-0191(00)00055-1.

Baker A. Land use and water quality. *Hydrol Process* 2003;17:2499–501. doi:10.1002/hyp.5140.

Boyd CE. *Water Quality: An Introduction*. 2nd ed. Springer International Publishing; 2015.

Burt TP, Howden NJK, Worrall F. On the importance of very long-term water quality records. *Wiley Interdiscip* 2014;1:41–8. doi:10.1002/wat2.1001.

Chapman D V., Bradley C, Gettel GM, Hatvani IG, Hein T, Kovács J, et al. Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example. *Environ Sci Policy* 2016;64:141–54. doi:10.1016/j.envsci.2016.06.015.

Dubber D, Gray NF. Replacement of chemical oxygen demand (COD) with total organic carbon (TOC) for monitoring wastewater treatment performance to minimize disposal of toxic analytical waste. *J Environ Sci Heal - Part A Toxic/Hazardous Subst Environ Eng* 2010;45:1595–600. doi:10.1080/10934529.2010.506116.

Gerência de Monitoramento de Qualidade das Águas - IGAM. BOLETIM ANUAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO E BAIXO RIO JEQUITINHONHA 2016.

Hellawell JM. BIOLOGICAL INDICATORS OF FRESHWATER POLLUTION AND

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. 1st ed. Elsevier Applied Science; 1986.  
doi:10.1007/978-94-009-4315-5.

Ibañez F, Beaugrand G. Monitoring marine plankton ecosystems: Identification of the most relevant indicators of the state of an ecosystem. *J Mar Syst* 2008;73:138–54.  
doi:10.1016/j.jmarsys.2007.10.005.

IBGE. Censo 2010 2010. <https://censo2010.ibge.gov.br/> (accessed February 6, 2018).

INEMA. Programa Monitora: Relatório Anual de Qualidade das Águas do Estado da Bahia - Ano 2015 2015.

Kirchhoff M, Seeger M, Ries JB. Soil Erosion in Sloping Vineyards Under Conventional and Organic Land Use 2017;43:119–40.

Meybeck M. Looking for water quality. *Hydrol Process* 2005;19:331–8.  
doi:10.1002/hyp.5778.

Nienie AB, Sivalingam P, Laffite A, Ngelinkoto P, Otamonga JP, Matand A, et al. Seasonal variability of water quality by physicochemical indexes and traceable metals in suburban area in Kikwit, Democratic Republic of the Congo. *Int Soil Water Conserv Res* 2017;5:158–65. doi:10.1016/j.iswcr.2017.04.004.

Pereira PRB, Diniz HN, Gutjahr MR, Menegasse LN, Oliveira FR, Duarte U. O ZONEAMENTO CLIMÁTICO NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA, ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL 2018.

Pérez Hernández D, López JL. Alguno aspectos relevantes de la hidrología del Río Orinoco. *El Río Orinoco*, 1998, p. 138–154.

Rangel-peraza G, Erickson D, Anda J De, Gonza F. Statistical assessment of water quality seasonality in large tropical reservoirs 2009:315–23. doi:10.1111/j.1440-

1770.2009.00412.x.

Reynolds CS. The ecology of phytoplankton. 2006. doi:10.1017/CBO9780511542145.

Rodrigues V, Estrany J, Ranzini M, de Cicco V, Martín-Benito JMT, Hedo J, et al. Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil). *Sci Total Environ* 2017;622–623:1553–61. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.10.028.

Singh, P., Haritashya, U.K., Kumar N. Seasonal changes in meltwater storage and drainage characteristics of the Dokriani Glacier, Garhwal Himalayas (India). *Hydrology Res* 2004;35:15–29.

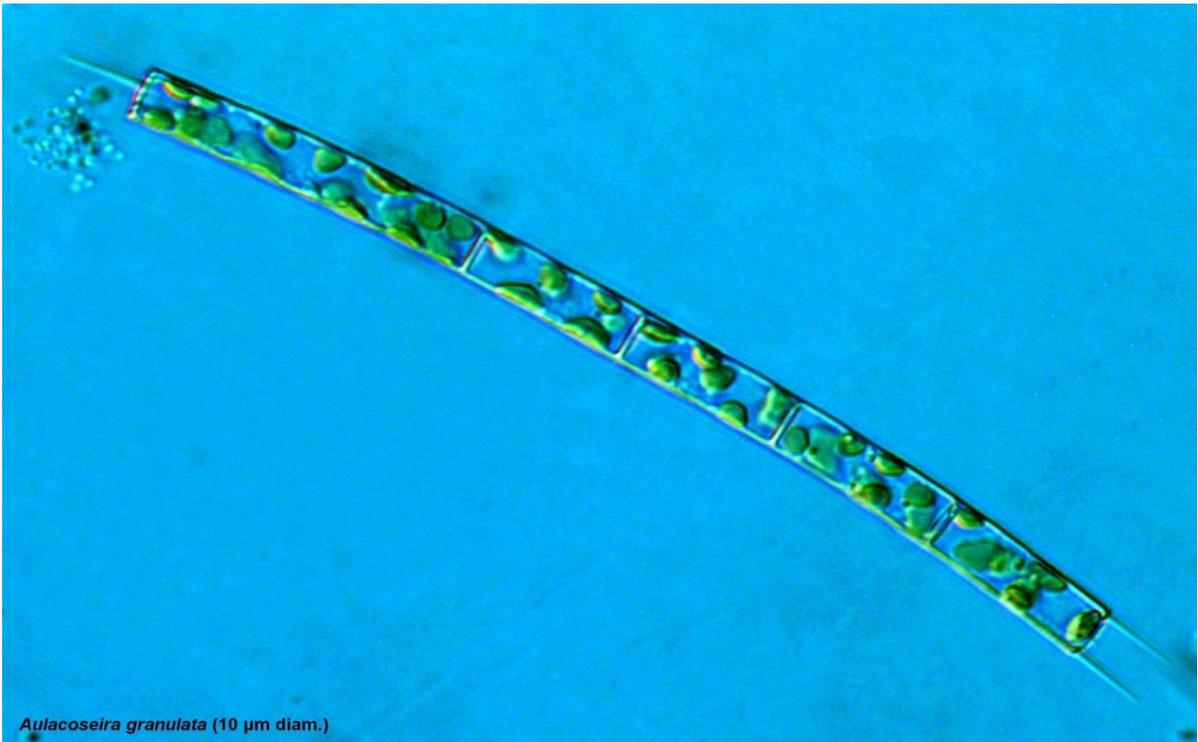
Slattery MC, Gares PA, Phillips JD. SLOPE – CHANNEL LINKAGE AND SEDIMENT DELIVERY ON NORTH CAROLINA COASTAL PLAIN CROPLAND 2002;1387:1377–87. doi:10.1002/esp.436.

Tundisi G, Matsumura T. *Limnology*. 2011.

Zheng L, Paul MJ. Effects of Eutrophication on Stream Ecosystems. Tetra Tech Inc 2009:42.

## Capítulo II

INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A ESTRUTURA DA COMUNIDADE E GRUPOS FUNCIONAIS DO FITOPLÂNCTON NO RIO JEQUITINHONHA, BAHIA, BRASIL.



*Aulacoseira granulata* (10  $\mu\text{m}$  diam.)

Fonte: <http://nordicmicroalgae.org>

INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A  
ESTRUTURA DA COMUNIDADE E GRUPOS FUNCIONAIS DO FITOPLÂNCTON NO  
RIO JEQUITINHONHA, BAHIA, BRASIL.

IGOR LIMA ABOIM<sup>1</sup>, DORIEDSON FERREIRA GOMES<sup>2</sup>, PAULO DE OLIVEIRA  
MAFALDA JÚNIOR<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente. Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina, Salvador, BA, Brasil. CEP: 40170-115.

<sup>2</sup> Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Biologia, Laboratório de Paleocologia (EcoPaleo).

<sup>3</sup> Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Biologia, Laboratório de Plâncton (LABPLAN).

Email: igoraboim@gmail.com

## Resumo

O estudo de organismos fitoplanctônicos é de grande relevância ecológica em decorrência da significativa produção de matéria orgânica a partir da fotossíntese desse grupo, representando a base da cadeia alimentar. Eles são considerados bons indicadores das condições físicas e químicas de águas superficiais. A qualidade da água de rios do planeta tem sido impactada por diversas atividades antrópicas e existe uma demanda pela quantificação desses impactos. A classificação do fitoplâncton a partir de seus atributos funcionais é uma maneira de compreender, descrever e prever seu comportamento em razão de quaisquer alterações no ecossistema. Corpos de água doce tropicais são precisamente caracterizados por forte sazonalidade, com estações chuvosas e secas bem definidas. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar a comunidade fitoplanctônica, investigar e avaliar o efeito da variabilidade sazonal da qualidade da água sobre os grupos funcionais do fitoplâncton do rio Jequitinhonha. Foi analisada uma série temporal de período chuvoso e seco durante três anos. Foram realizadas análises estatísticas descritivas, inferenciais e multivariadas (ACC). Nossos estudos indicaram

que a demanda química de oxigênio, o alumínio dissolvido e a turbidez foram os principais fatores a influenciar nas alterações na composição e estrutura do fitoplâncton. O período seco favoreceu a diatomáceas e clorofíceas, enquanto o período chuvoso favoreceu a presença das cianobactérias. Revelamos ainda que, no período seco, os valores mais baixos de turbidez, demanda química de oxigênio, alumínio dissolvido e ferro dissolvido estiveram relacionados com um provável fenômeno de eutrofização.

### **Abstract**

The study of planktonic organisms is of great ecological importance because phytoplankton produces organic matter by photosynthesis and so represent the base of the food chain. They are considered as a good indicator of physical and chemical conditions of surface water. Streams water quality has been globally impacted by many anthropic activities and there is a demand for quantifying these impacts. The classification of phytoplankton by their functional characteristics is a way to comprehend, describe and predict their behavior in response to any ecosystem alteration. Tropical freshwater bodies are precisely defined by strong seasonality, with well-defined rainy and dry seasons. This study aims to characterize phytoplankton community, investigate and evaluate the effect of water quality seasonal variability over phytoplankton functional groups in Jequitinhonha River. We analyzed a three years' time series for rainy and dry seasons. We performed descriptive, inferential and multivariate analysis (CCA). Our results indicated that chemical oxygen demand, dissolved aluminum and turbidity were the main factors to influence in phytoplankton community structure and composition. Dry season was favorable to diatoms and chlorophyceae while rainy season was favorable for cyanobacteria. Still, we revealed that, in dry season, lower values for turbidity, chemical oxygen demand, dissolved aluminum and dissolved iron were probably related with eutrophication phenomena.

## Introdução

O estudo de organismos fitoplanctônicos é de grande relevância ecológica em decorrência da significativa produção de matéria orgânica a partir da fotossíntese desse grupo, representando a base da cadeia alimentar. (Brandao et al., 2017; Lee, 2008). Eles são considerados bons indicadores das condições físicas e químicas de águas superficiais (Costa et al., 2009) de dinâmica regulada tanto por processos físico-químicos (“bottom-up”) quanto por interações tróficas (“top-down”). (Sin et al., 2006, 1999).

A qualidade da água de rios do planeta tem sido impactada por diversas atividades antrópicas e existe uma demanda pela quantificação desses impactos. (Chapman et al., 2016; Meybeck, 2005). Mesmo com o aumento dos impactos antrópicos ainda há uma grande dificuldade em conseguir dados de longo prazo, fundamentais para entender o comportamento desses sistemas. (Burt et al., 2014). A qualidade da água de corpos de água doce é impactada por fatores naturais, precipitação, vazão, geologia e tipo de solo, topografia e cobertura vegetal, e antrópicos, captação de água, urbanização ou represamento, descarga industrial, agricultura ou esgotamento sanitário (Baker, 2003; Rodrigues et al., 2017).

A classificação do fitoplâncton a partir de seus atributos funcionais é uma maneira de compreender, descrever e prever seu comportamento em razão de quaisquer alterações no ecossistema. Reynolds *et al.* (2002) propôs o agrupamento de organismos fitoplanctônicos baseado em estratégias de sobrevivência como tolerância e sensibilidade a condições ambientais diferentes. Essa lista inclui 31 grupos de espécies, códons representados por letras, com características similares de sucesso sob determinadas condições ambientais.

O escoamento superficial é um fenômeno sazonal, muito afetado pelo clima da bacia hidrográfica (Singh, P., Haritashya, U.K., Kumar, 2004). Corpos de água doce tropicais são precisamente caracterizados por forte sazonalidade, com estações chuvosas e secas bem definidas em que a precipitação é definida pela oscilação da zona de convergência intertropical (Pérez Hernández and López, 1998).

A hipótese desse trabalho é de que a estrutura da comunidade e dos grupos funcionais fitoplanctônicos responde a variabilidade sazonal da qualidade da água, variabilidade essa relacionada aos diversos usos humanos dos recursos hídricos, como o recreativo, agrícola, industrial e pesqueiro.

Os objetivos deste trabalho são caracterizar a comunidade fitoplanctônica, investigar e avaliar o efeito da variabilidade sazonal da qualidade da água sobre os grupos funcionais do fitoplâncton do rio Jequitinhonha.

## **Metodologia**

### **Área de estudo**

A bacia do Jequitinhonha compreende 70.315 km<sup>2</sup> e passa por 70 municípios 63 no estado de Minas Gerais (MG) e 7 no estado da Bahia(BA), no Vale do Jequitinhonha está uma população de 977,8 mil pessoas (IBGE, 2010). A qualidade das águas do baixo Jequitinhonha é monitorada anualmente, por órgãos ambientais dos estados de MG e BA (IGAM, 2016; INEMA, 2015).

Há a descarga de efluentes de uma indústria de papel e celulose na região estudada, bem como a utilização de terras para fins agrícolas nas margens do rio. A indústria de papel e

celulose é a sexta mais poluidora do mundo, descarregando uma variedade de gases, líquidos e sólidos sobre o ambiente (Ali and Sreerishnan, 2001).

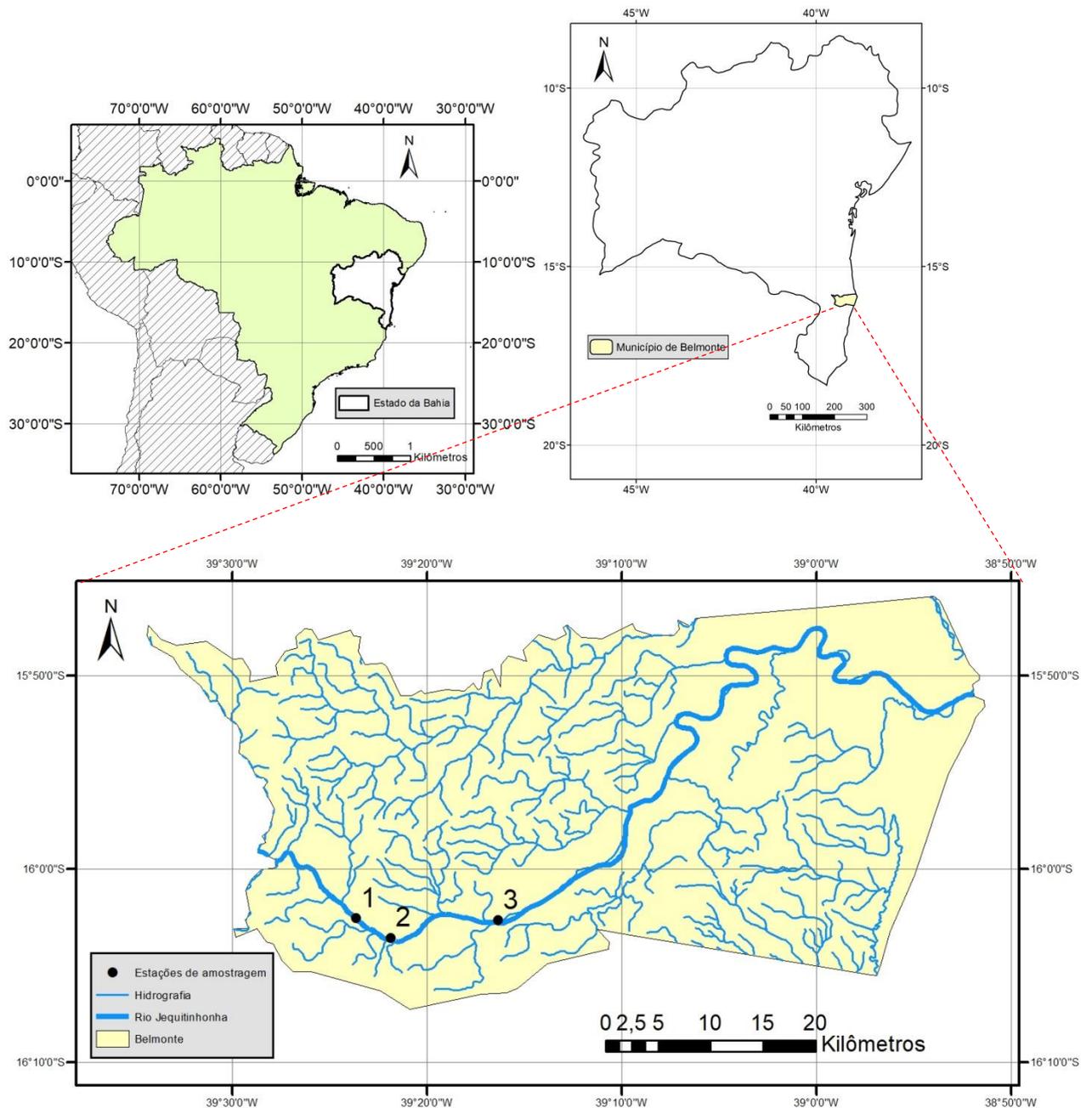
O clima da região é considerado tropical oceânico, com pluviosidade entre 1250 a 2000 mm/ano, o trimestre mais chuvoso é entre os meses de fevereiro e abril, com valores entre 450 e 600 mm e concentra 30 a 35% da precipitação total anual. O trimestre mais seco é agosto, setembro e outubro, com valores entre 150 e 200 mm, concentrando de 8 a 21% da precipitação anual. A evapotranspiração apresenta valores altos, superiores a 1200 mm/ano, as deficiências tendem a zero em direção a foz e os excedentes hídricos são elevados durante todo o ano (Pereira et al., 2018)

Do ponto de vista hidroquímico as águas que circulam na porção baiana do rio Jequitinhonha apresentam baixa concentração salina. No período entre 2008 e 2015 o curso apresentou Índices de Qualidade de Água (IQA) entre bom e ótimo e Índice de Estado Trófico variando entre hipereutrófico e ultraoligotrófico (INEMA, 2015).

### **Pontos de amostragem e procedimentos de laboratório**

Para esse estudo a malha amostral foi determinada levando como referência o curso médio do rio na região, que pode ser visualizado no mapa contido na **Figura 1**.

As campanhas de amostragem componentes deste estudo de monitoramento foram realizadas entre 2010 e 2012, nos meses de fevereiro (período chuvoso) e agosto (período seco). Desta forma foi analisada uma série temporal de período chuvoso de três anos e outra de período seco com a mesma duração.



**Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.**

A coleta do fitoplâncton foi realizada em subsuperfície, em galões de cinco litros. A contagem foi realizada em câmara de sedimentação de Utermöhl (1958), após um tempo mínimo de 24 horas de sedimentação. O procedimento de contagem dos organismos foi o de quadrículas sorteadas (Uehlinger, 1964).

O método adotado foi o da contagem de 100 indivíduos da espécie mais abundante. Esta metodologia permite trabalhar com intervalos de confiança de +/- 20 % da média, a um nível de significância de 95 %, o que é considerado como suficiente para estudos desta natureza (Lund et al., 1958). Os resultados foram expressos em organismos por mililitro, calculados pela fórmula:

$$N = n \cdot A/a \cdot 1/V$$

Onde:

N = Número de organismos por mililitros

n = Número de organismos contados

a = Área contada

A = Área total da câmara

V = Volume total sedimentado

Os grupos funcionais do fitoplâncton e suas associações foram definidos de acordo com Padisák et al. (2009) e Reynolds et al. (2002) (**Tabela 2**) e foram determinados considerando os *taxa* que contribuíram com pelo menos 1% da densidade total de cada amostra.

Os dados de qualidade da água, bem como os procedimentos de coleta e preservação das amostras foram baseados nas metodologias estabelecidas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ª edição*, ou outras normas padronizadas e reconhecidas, conforme descrito na **Tabela 2**.

As mensurações dos parâmetros físico-químicos: pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido foram realizadas *in situ* com leituras subsuperficiais.

Os dados de precipitação foram obtidos do banco de dados do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA, 2018).

As amostras destinadas às diversas variáveis químicas foram coletadas subsuperficialmente e acondicionadas em recipientes de polietileno com capacidade para 3L e recipientes âmbar com capacidade para 1L, preservadas (quando necessário), mantidas sobre refrigeração e encaminhadas ao laboratório da CETREL, ou laboratório subcontratado, para o processamento analítico dos parâmetros.

**Tabela 1: Parâmetros analisados na matriz água, metodologias de análise, e limites de detecção dos métodos empregados.**

<b>VARIÁVEL (unidade)</b>	<b>Abreviação</b>	<b>Metodologia utilizada</b>	<b>Limite mínimo de detecção (LD)</b>
<b>pH</b>	pH	---	---
<b>Oxigênio Dissolvido (mg/L)</b>	OD	---	---
<b>Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)</b>	STD	2540 P.2-58	3
<b>Condutividade (µS/cm)</b>	COND	2510 B	1
<b>Demanda biológica de oxigênio (mg/L)</b>	DBO	5210 B	2
<b>Turbidez (NTU)</b>	TUR	2130 B	0,9
<b>Temperatura (°C)</b>	TEMP	---	---
<b>Demanda química de oxigênio (mg/L)</b>	DQO	5220 D	5
<b>Fósforo Total (mg/L)</b>	P	4500 C	0,1
<b>Nitrogênio Total (mg/L)</b>	N	4500 A	0,5
<b>Halometanos (µg/L)</b>	AOX	SCAN Standard - W 9:89	10
<b>Sódio (mg/L)</b>	NA	3120 B	0,01
<b>Cálcio (mg/L)</b>	CA	3120 B	0,01
<b>Ferro dissolvido (mg/L)</b>	FE	3120 B	0,01
<b>Alumínio (mg/L)</b>	AL	3120 B	0,01
<b>Óleos e Graxas (mg/L)</b>	OLEO	5520 D	0,4

Foram adotados para o estudo parâmetros físicos, químicos e biológicos que permitem caracterizar a qualidade da água, assim como um possível grau de contaminação nos pontos de coleta.

Para os dados mensais de precipitação foram realizados os testes de Kruskal-Wallis para cada um dos períodos e o teste de Mann-Whitney.

Foram realizadas análises estatísticas descritivas, inferenciais e multivariadas para os dados ambientais e biológicos através dos programas Bioestat versão 5.0, Microsoft Excel 2010, CANOCO 4.5 e R 3.4.4 (R Foundation for Statistical Computing, 2018).

Foram realizadas análises de variância (ANOVA axb) para as variáveis hidroquímicas com a construção de gráficos Box-Plot. Para os dados do fitoplâncton foram calculados índices ecológicos: Índice de riqueza de Margalef (Gamito, 2010; Margalef, 1983), índice de diversidade de Shannon-Wiener (Shannon and Weaver, 1963) e frequência de ocorrência.

A frequência de ocorrência (%) foi determinada pela seguinte fórmula:

$$Fo = (Ta*100) / TA,$$

Onde, Ta = número de amostras onde o táxon ocorreu, e TA = número total de amostras.

Os *taxa* foram classificados segundo a escala de NEUMANN - LEITÃO (1994): > 70 %

- muito frequente (M); 70-40 % - frequente (F); 40-10 % - pouco frequente (P) e < 10%

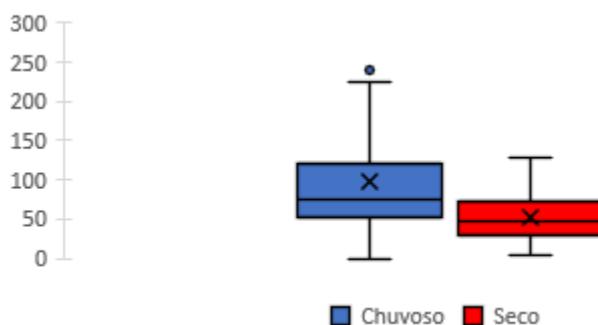
- esporádico (E).

A análise de correspondência canônica (ACC) foi realizada utilizando as variáveis abióticas e os grupos funcionais do fitoplâncton a fim de demonstrar possíveis associações em ambas as estações.

## Resultados

### Precipitação

A precipitação média anual no período amostrado foi de 896,4 mm, com média mensal no período chuvoso de 97,8 (outubro a março) e no período seco de 53,1 (abril a setembro) (**Figura 2**). Os dados de precipitação apresentaram variabilidade não significativa entre os anos ( $p > 0,05$ ) e significativa entre os períodos chuvoso e seco



( $p < 0,05$ ).

**Figura 2: Gráfico box-plot (média, desvio padrão, máximos e mínimos) da precipitação do município do município de Belmonte- BA.**

### Parâmetros de qualidade da água

As variáveis demanda biológica de oxigênio, nitrogênio total e fósforo total tiveram valores encontrados abaixo do limite mínimo de detecção do método (LD) e não foram levadas em conta na análise estatística descritiva, inferencial e multivariada.

A Tabela 7 mostra os gráficos box-plot para a média e desvios padrões de cada variável para o período chuvoso e período seco e para cada ano.

No período chuvoso a média da temperatura foi de 28,7 °C enquanto no período seco foi de 24,2°C. O pH teve diferença de 0,3 entre as médias do período chuvoso e seco, com 7,4 no chuvoso e 7,1 no seco. Para a turbidez e o demanda química de oxigênio as diferenças entre as médias também foram significativas, com 53,6 de turbidez no

período chuvoso e 12,7 no seco e para o demanda química de oxigênio 25,0 e 6,1 respectivamente.

### **Interação entre os parâmetros e os anos ou estações.**

Na anova fatorial a x b foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os anos para quase todas as variáveis a exceção da temperatura, ferro dissolvido e alumínio dissolvido. Também foram encontradas diferenças significativas sazonais para quase todas as variáveis exceto ferro dissolvido, sólidos totais dissolvidos e sódio total. Na análise da interação entre os blocos e os tratamentos foram encontradas diferenças significativas para oxigênio dissolvido, condutividade, turbidez, carbono orgânico total, sólidos totais dissolvidos, sódio total e cálcio total (**Tabela 4**)

### **Estrutura da comunidade fitoplanctônica**

Foi identificado um total de 134 *taxa* ao longo do estudo, 86 no período chuvoso e 103 no período seco, subdivididos em 6 divisões, Bacillariophyta(62), Chlorophyta(51), Cyanophyta(17), Euglenophyta(2), Dinophyta(1) e Cryptophyta(1) distribuídos sazonalmente de acordo com a **Figura 3**..

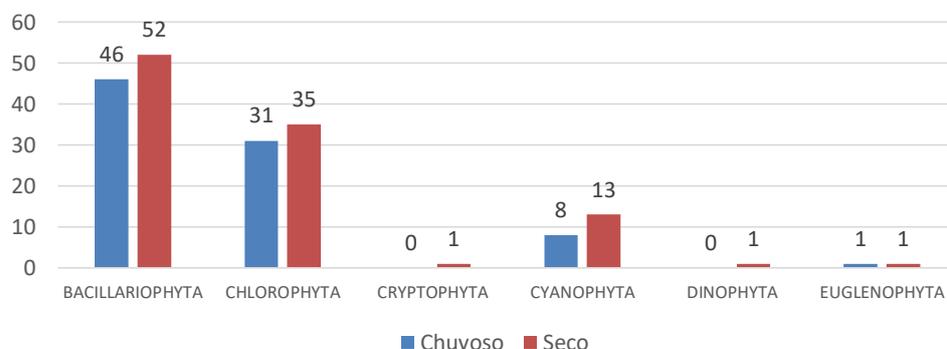
A frequência de ocorrência dos *taxa* se distribuiu sazonalmente de acordo a **Figura 4**. Os *taxa* mais frequentes no período chuvoso foram *Aulacoseira granulata var. angustissima* (89%) e *Pseudanabaena sp1.* (89%). Os *taxa* mais frequentes no período seco foram *Aulacoseira granulata var. angustissima* (100%), *Aulacoseira granulata* (100%), *Closterium acutum* (89%) e *Schroederia indica* (100%). Dados adicionais de frequência de ocorrência do fitoplâncton estão no **APÊNDICE A**.

**Tabela 2: Grupos funcionais do fitoplâncton encontrados no rio Jequitinhonha, adaptado de Padisák et al. (2009) e Reynolds et al. (2002).**

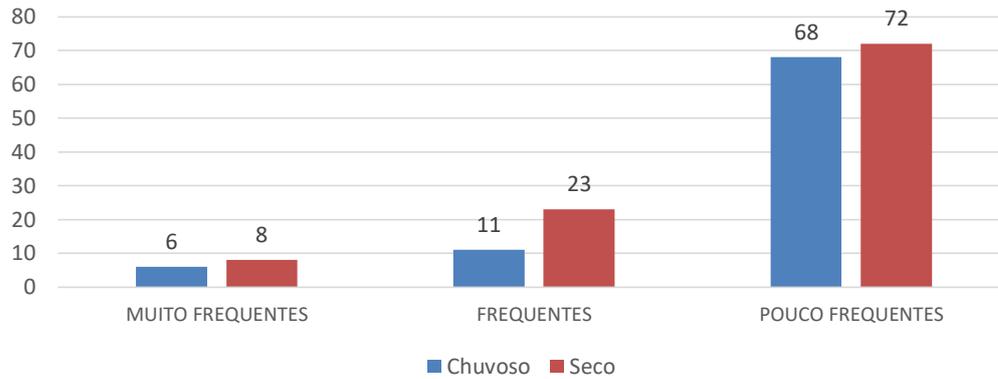
<b>Códon</b>	<b>Habitat</b>	<b>Representativos</b>	<b>Tolerâncias</b>	<b>Sensibilidades</b>
<b>D</b>	Águas turvas e rasas.	<i>Nitzschia sp1.</i>	Turbulências	Depleção de nutrientes
<b>F</b>	Lagos mesotróficos, limpos e com camada de mistura profunda	<i>Pseudosphaerocystis, Sphaerocystis schroeteri</i>	Baixa de nutrientes, turbidez	Deficiência de CO <sub>2</sub>
<b>J</b>	Sistemas rasos, misturados e altamente enriquecidos	<i>Pediastrum tetras, Scenedesmus acunae, Scenedesmus ecornis, Scenedesmus linearis,</i>	enriquecimento de nutrientes	turbulências, baixa luminosidade total
<b>S1</b>	Ambientes turvos e misturados	<i>Phormidium sp1., Pseudanabaena sp1.</i>	alta deficiência de luminosidade	turbulências
<b>Lo</b>	Lagos médios a grandes, oligo a eutróficos, profundos ou rasos.	<i>Chroococcus limneticus</i>	Segregação de nutrientes	Mistura profunda ou prolongada
<b>P</b>	Epilimnio eutrófico	<i>Aulacoseira granulata, Aulacoseira granulata var. angustissima, Closterium acutum.</i>	Pouca luminosidade e deficiência de carbono	Estratificação, depleção de carbono
<b>A</b>	Lagos ácidos, limpos, profundos	<i>Cyclotella sp1.</i>	Nutrient deficiency	pH rise
<b>X1</b>	Camada de mistura rasa, enriquecidas	<i>Monoraphidium contortum, Schroederia indica</i>	Estratificação	Deficiência de nutrientes, animais filtradores
<b>X2</b>	Lagos rasos, limpos, camada de mistura mesotrófica	<i>Chroomonas nordstedtii</i>	estratificação	mistura, animais filtradores
<b>Y</b>	Lagos pequenos enriquecidos	<i>Gymnodinium sp1., Gymnodinium sp2, Cryptomonas ovata</i>	Baixa luminosidade	fagotrofia

<b>B</b>	Lagos mesotróficos pequenos e médios	<i>Cyclotella stelligera</i>	Deficiência de luminosidade	Elevação de pH, estratificação e depleção de sílica
<b>MP</b>	Lagos rasos e turvos, frequentemente agitados.	<i>Hantzschia amphioxys</i>	Baixa luminosidade, turbidez	estratificação
<b>W1</b>	Pequenas lagoas orgânicas	<i>Euglena sp.</i>	Alta demanda bioquímica de oxigênio	pastoreio
<b>N</b>	Epilimnio mesotrófico	<i>Staurastrum leptocladum</i>	Deficiência de nutrientes	Estratificação, elevação do pH

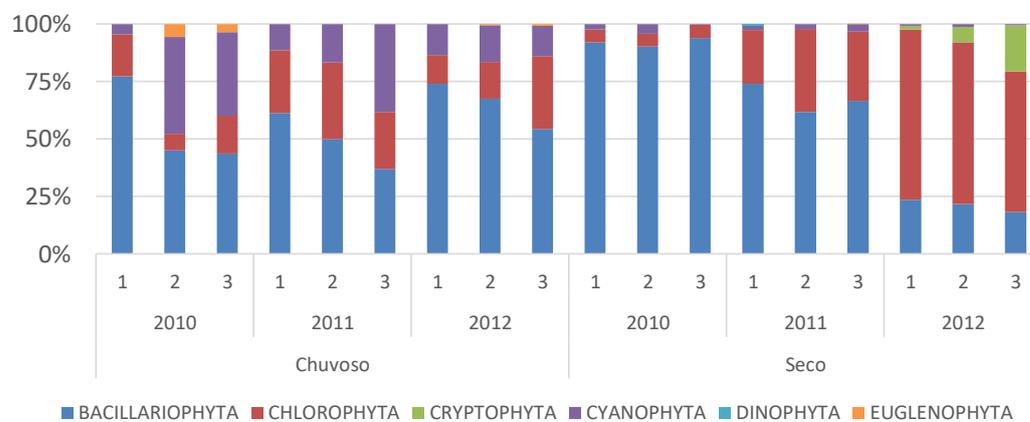
A riqueza (S) registrada no período seco foi maior do que no período chuvoso (**Figura 6**). A abundância relativa para as divisões se comportou de acordo com a **Figura 5**. No período chuvoso, Bacillariophyta, Cyanophyta e Chlorophyta foram as divisões mais abundantes, no período seco Bacillariophyta e Chlorophyta foram as mais abundantes, Bacillariophyta foi dominante no período chuvoso de 2012 e nos períodos secos de 2010 e 2011, Chlorophyta foi dominante no período seco de 2012. O índice de riqueza de Margalef variou entre 1,94 e 49,64 no período chuvoso e entre 4,35 e 10,21 no período seco. O índice de Shannon-Wiener variou entre 1,24 e 3,05 no período chuvoso e entre 1,73 e 2,61 no período seco (**Figura 6**).



**Figura 3: Distribuição sazonal do número de taxa do fitoplâncton, por divisão.**



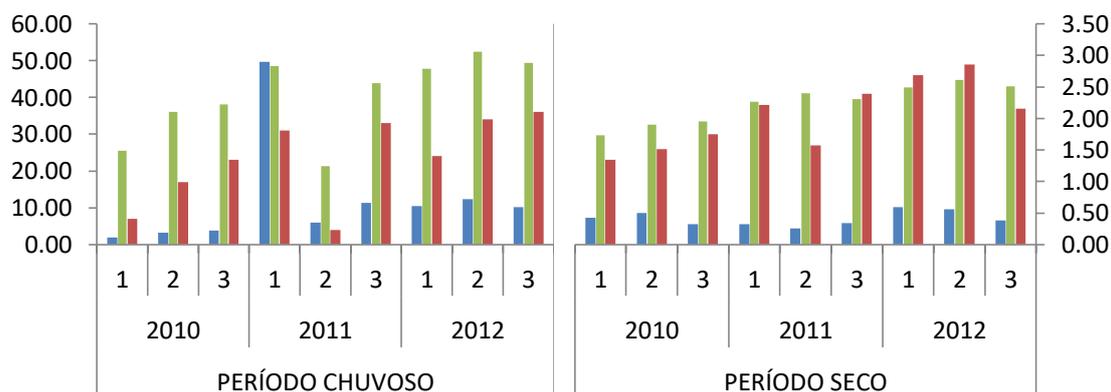
**Figura 4: Distribuição sazonal do número de taxa do fitoplâncton por categoria de frequência de ocorrência de acordo com a classificação de Neumann-Leitão et al., 1999.**



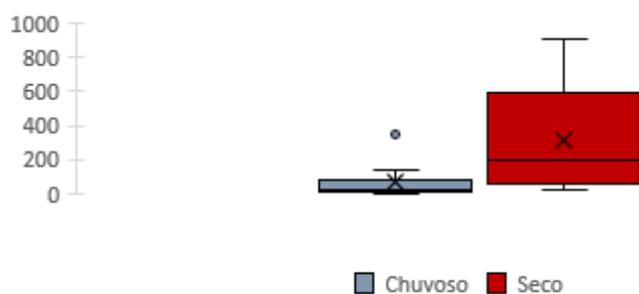
**Figura 5: Abundância relativa das divisões do fitoplâncton para todas as estações de amostragem nos períodos seco e chuvoso**

A abundância relativa dos grupos funcionais se comportou conforme a **Tabela 4**. No período chuvoso, em 2010 Y foi mais abundante, em 2011 P foi mais abundante e em 2012 MP foi o grupo funcional mais abundante. No período seco, em 2010 P e S1 for os mais abundantes, em 2011 S1 e MP foram os mais abundantes e em 2012 D e P foram os grupos funcionais mais abundantes. Maiores densidades foram encontradas no período seco . Bacillariophyta apresentou maiores densidades no período seco de 2011

(587 org/ml em R1, 606 org/ml em R3), seguida por Chlorophyta (185 org/ml em R1 e 275 em R3).



**Figura 6:** Valores de riqueza (vermelho), do índice de riqueza de Margalef (IRM) (azul) e do índice de diversidade de Shannon-Wiener (verde) no rio Jequitinhonha. A escala da riqueza e IRM estão no eixo vertical primário e escala do índice de Shannon-Wiener está no eixo vertical secundário.



**Figura 7:** Box plot para as densidades do fitoplâncton em organismos/ml para os períodos seco e chuvoso.

**Tabela 3:** Valores de abundância relativa dos grupos funcionais, nos períodos seco e chuvoso, do fitoplâncton com valores não-nulos em vermelho e em negrito.

Grupo funcional	Chuvoso			Seco		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012
A	<b>5.5%</b>	0	0	0	0	0
B	0	<b>0.7%</b>	<b>5.6%</b>	<b>1.5%</b>	<b>2.7%</b>	0

D	0	1.3%	18.0%	0	0.6%	0.3%
F	2.2%	1.7%	2.2%	0.4%	12.9%	4.1%
J	6.9%	0.6%	1.8%	0	1.2%	40.5%
Lo	12.3%	0	0	0	0	0
MP	0.4%	14.6%	0.7%	1.4%	1.3%	0.1%
N	0	0	0	0	4.1%	0.7%
P	31.0%	11.2%	14.9%	9.3%	58.2%	6.8%
S1	23.1%	31.4%	7.0%	0.6%	1.3%	0
W1	4.0%	0	0.6%	0	0	0
X1	0	3.1%	9.8%	1.5%	5.9%	7.0%
X2	0	0	0	0	0	12.6%
Y	6.1%	4.4%	0	70.3%	2.2%	6.2%

### Análise de correspondência canônica

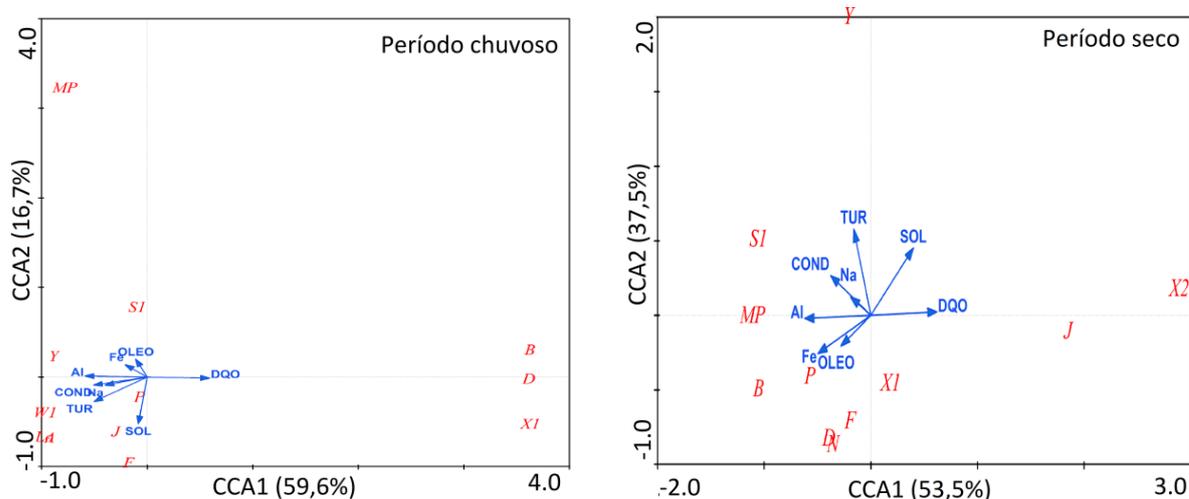
A análise de correspondência canônica (ACC) foi realizada para investigar a associação entre os grupos funcionais do fitoplâncton e as variáveis abióticas. A **Figura 9** contém o resultado da ACC e a **Tabela 5** a estatística para os eixos 1 e 2.

No período chuvoso os dois primeiros eixos de variáveis abióticas explicaram 79% da variância dos grupos funcionais do fitoplâncton. As maiores contribuições para o eixo 1 foram demanda química de oxigênio (0,99), alumínio dissolvido (-0,99), condutividade (-0,86) e turbidez (-0,85). As maiores contribuições para o eixo 2 foram sólidos totais dissolvidos, turbidez e óleos e graxas.

Os grupos funcionais B, D e X1 tiveram maior associação com a demanda química de oxigênio, P, J e F se relacionaram com sólidos totais dissolvidos, Lo e A se relacionaram com a turbidez, W1 se relacionou com a turbidez, o sódio total e a condutividade, Y se relacionou com alumínio dissolvido e ferro dissolvido. MP e S1 se relacionaram com óleos e graxas.

No período seco os dois primeiros eixos de variáveis abióticas explicaram 91% da variância dos grupos funcionais do fitoplâncton, as maiores contribuições para o eixo 1 foram demanda química de oxigênio (0,99), alumínio dissolvido (-0,99), ferro

dissolvido (-0,80) e sólidos totais dissolvidos (0,64). As maiores contribuições para o eixo 2 foram turbidez (0,95) e sólidos totais dissolvidos (0,74).



**Figura 9: Análise de correspondência canônica (ACC) entre variáveis abióticas (linhas com setas azuis) e os grupos funcionais do fitoplâncton (cor vermelha) mais frequentes nos períodos chuvoso (à esquerda) e seco (à direita).**

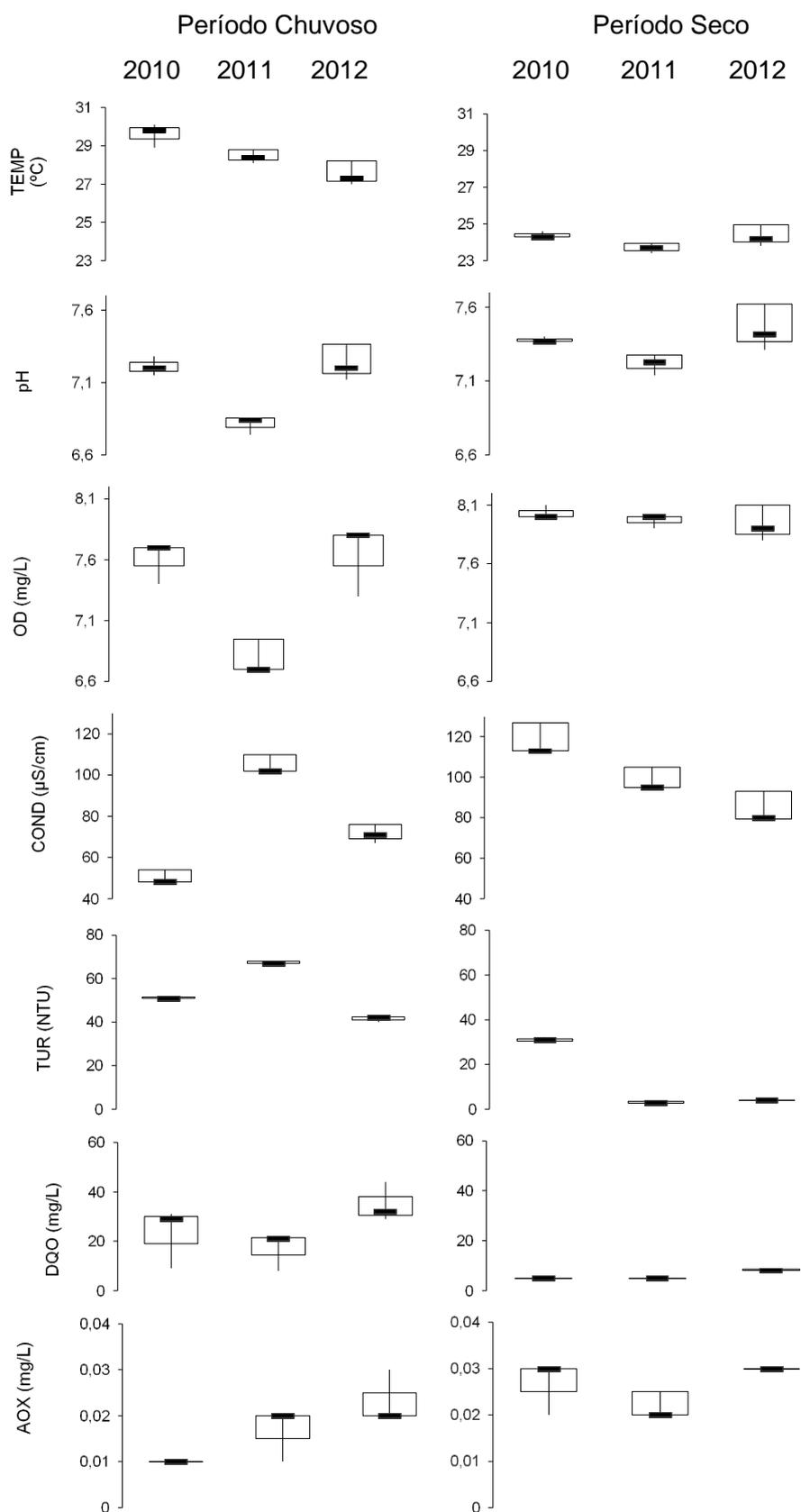
O grupo funcional S1 se associou com a condutividade e o sódio total, B se relacionou com o ferro dissolvido, P se relacionou com os óleos e graxas e o ferro dissolvido, D, N e F se relacionaram com os óleos e graxas, MP se relacionou com o alumínio dissolvido, X1 se relacionou com os óleos e graxas e a demanda química de oxigênio, J e X2 se relacionaram com a demanda química de oxigênio e Y se relacionou com a turbidez.

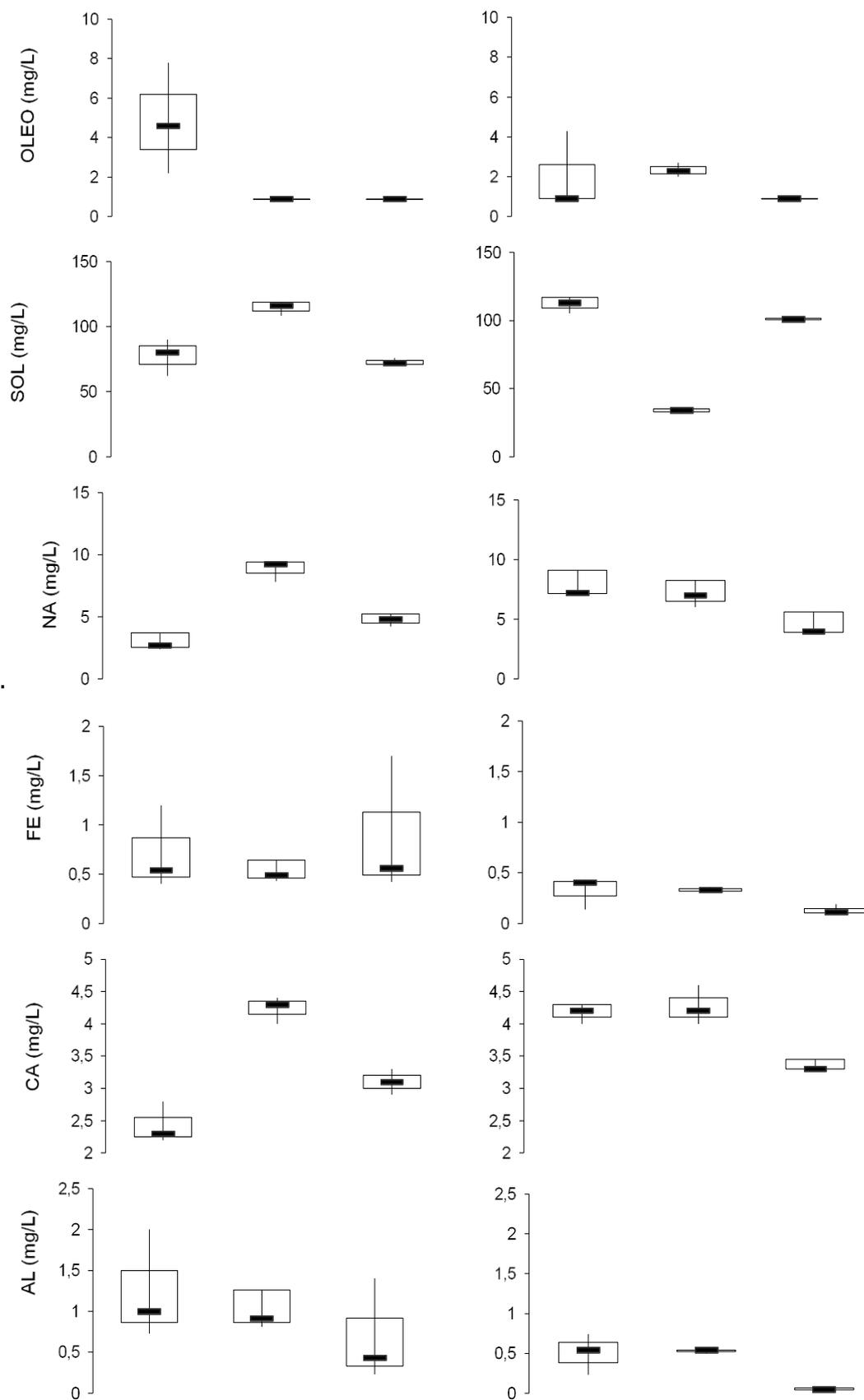
**Tabela 4: Estatísticas dos primeiros dois eixos do ACC para ambos os períodos.**

	Período chuvoso		Período seco	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
<b>Autovalores</b>	0.510	0.142	0.324	0.227
<b>Proporção da variância explicada</b>	59,6%	16,7%	53,5%	37,5%
<b>Sumário do teste de Monte Carlo</b>	F = 1,478		F = 5,817	
<b>Teste de significância dos eixos canônicos.</b>	P = 0,002		P = 0,002	

Tabela 5: Valores de p na ANOVA fatorial a x b. Os valores de  $P < 0,05$  em negrito.

Variável	P (Tratamentos) “entre os anos”	P (Blocos) “Sazonal”	P (Interação)
TEMP	0.1181	< <b>0.0001</b>	0.0845
pH	<b>0.0031</b>	<b>0.0027</b>	0.3816
OD	<b>0.0096</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0208</b>
COND	<b>0.0111</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0005</b>
TUR	< <b>0.0001</b>	< <b>0.0001</b>	< <b>0.0001</b>
COT	<b>0.001</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0035</b>
DQO	<b>0.0458</b>	<b>0.0002</b>	0.2068
AOX	<b>0.0226</b>	<b>0.001</b>	0.1469
OLEO	<b>0.0227</b>	0.501	0.0596
SOL	<b>0.0017</b>	0.1242	< <b>0.0001</b>
NA	<b>0.0109</b>	0.1023	<b>0.0093</b>
FE	0.9387	<b>0.0156</b>	0.5521
CA	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0002</b>
AL	0.1225	<b>0.0071</b>	0.9482





**Figura 10: Gráficos box-plot para as médias, desvios padrões, máximos e mínimos dos parâmetros de qualidade da água**

## Discussão

O principal objetivo desse estudo foi investigar a resposta do fitoplâncton a alterações ambientais em um grande rio tropical. Para isso, a sua variabilidade sazonal em uma escala temporal foi analisada. A hipótese desse trabalho era a de que a estrutura da comunidade e dos grupos funcionais fitoplanctônicos responde a variabilidade sazonal da qualidade da água, relacionada aos diversos usos humanos dos recursos hídricos, como o recreativo, agrícola, industrial e pesqueiro.

O trabalho de campo foi feito entre os anos de 2010 e 2012, com coletas em fevereiro (período chuvoso) e agosto (período seco). Os padrões de descarga de um rio determinam as principais propriedades desses sistemas e flutuações sazonais nesses padrões controlam processos biológicos, químicos e físicos que tem relação com a dinâmica fitoplanctônica (Tundisi and Matsumura, 2011).

Fatores climáticos, geográficos como precipitação, estabilidade térmica e uso do solo são importantes para compreensão da dinâmica fitoplanctônica em ambientes aquáticos. (Tundisi et al., 2007). Os grupos funcionais do fitoplâncton demonstraram variação entre os períodos chuvoso e seco. Essa diferença pode ser explicada pela importância do ambiente físico como principal fator de controle sobre a dinâmica e a estrutura do fitoplâncton em grandes rios (Devercelli and O'Farrell, 2013; Reynolds and Descy, 1996).

A dominância da divisão Bacillariophyta ou Chlorophyta está relacionada com a menor precipitação acumulada e menores temperaturas características do período seco (Brandao et al., 2017; Yang et al., 2017).

No período seco, o grupo funcional P, apesar de representativo em ambos os períodos, apresentou maior densidade, com maior contribuição dos taxa *Aulacoseira granulata* e *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*. A análise de correspondência canônica indicou uma relação desse grupo funcional com o ferro dissolvido e óleos e graxas. O ferro dissolvido tem um papel importante como micronutriente, sendo o mais importante elemento traço em células de algas, contribuindo com os dois processos mais custosos do ponto de vista energético da célula, a redução do nitrogênio e a redução do carbono fotossintético (Reynolds, 2006). Óleos e graxas podem ter efeitos diversos sobre o fitoplâncton, o mais comum deles é a inibição da atividade fotossintética. É comum que diatomáceas de menor dimensão sejam mais afetadas pela presença do óleo do que as maiores (Carrera-Martínez et al., 2011).

A maior representatividade de J, um grupo funcional com tolerância a ambientes enriquecidos em nutrientes, no período seco e sua relação com a demanda química de oxigênio estão relacionadas com condições de eutrofização (Padisák et al., 2009; Reynolds et al., 2002). A demanda química de oxigênio é uma variável que permite estimar a quantidade de matéria orgânica presente na água (Tundisi and Matsumura, 2011). Valores mais baixos nos índices de diversidade de Shannon-Wiener e de riqueza de Margalef nesse período também indicam condições de eutrofização (Tyokumbur and Okorie, 2013). Por fim, a presença de X2 no período, associado à demanda química de oxigênio, indica que há um certo nível de estratificação.

No período chuvoso, a maior abundância de cianobactérias é preocupante do ponto de vista do gerenciamento de recursos hídricos, em decorrência do impacto potencial na saúde de toxinas de alguns taxa pertencentes a essa divisão (Chien et al., 2013; Zhang et al., 2016). Valores mais altos do índice de diversidade de Shannon-Wiener foram

encontrados no período chuvoso, indicando uma melhor qualidade da água (Tyokumbur and Okorie, 2013).

S1 foi mais abundante nesse período, apresentando relação positiva com o ferro dissolvido e óleos e graxas. A presença de S1 está comumente relacionada com ambientes com alta turbidez e baixa luminosidade (Reynolds et al., 2002) que podemos sugerir ser resultado da maior vazão associada a precipitação acumulada do período.

A análise de correspondência canônica demonstrou que, no período chuvoso, as principais variáveis a explicar a variabilidade dos grupos funcionais do fitoplâncton foram a demanda química de oxigênio, o alumínio dissolvido, a condutividade e a turbidez. Enquanto a relação com a demanda química de oxigênio explica a influência da matéria orgânica presente na água sobre os organismos (Tundisi and Matsumura, 2011), o alumínio tem relação com a disponibilidade do fósforo e íons de alumínio podem ser tóxicos para alguns grupos do fitoplâncton (Reynolds, 2006). A condutividade, além de possuir correlação com a presença de nutrientes, é uma medição da presença de cátions e ânions na água (Tundisi and Matsumura, 2011), já a turbidez tem efeito sobre a luminosidade.

No período seco, a análise de correspondência canônica demonstrou que as principais variáveis a explicar a variabilidade dos grupos funcionais do fitoplâncton foram a turbidez, a demanda química de oxigênio, o alumínio dissolvido e os sólidos totais dissolvidos.

Os resultados dos estudos realizados demonstram que há diferenças sazonais marcantes na composição, estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica e seus grupos funcionais, responsáveis pela maior parte da produção primária em grandes rios (Arimoro et al., 2018; Reynolds, 2006; Tundisi and Matsumura, 2011). Ainda ficou

evidente que os grupos funcionais do fitoplâncton estiveram associados às variáveis abióticas analisadas. Alterações em fatores ambientais como a precipitação, turbidez, demanda química de oxigênio, condutividade, metais dissolvidos e os sólidos totais dissolvidos foram fundamentais na formação da estrutura da comunidade fitoplanctônica.

## **Conclusões**

O presente estudo propôs a investigação da resposta da estrutura da comunidade e grupos funcionais do fitoplâncton a alterações da carga de micronutrientes, elementos traço e parâmetros físico-químicos no corpo d'água de um grande rio brasileiro, em função da sazonalidade. Para atingir esse objetivo, o fitoplâncton em escala espacial e temporal foi estudado, bem como suas relações com as variáveis ambientais.

Genericamente, houve indícios de que as alterações no fitoplâncton foram geradas pela sazonalidade, com destaque para as variáveis abióticas como a turbidez, a demanda química de oxigênio, a condutividade, o alumínio e o ferro dissolvidos.

O trabalho indicou que a demanda química de oxigênio, o alumínio dissolvido e a turbidez foram os principais fatores a influenciar nas alterações na composição e estrutura do fitoplâncton, podendo estar relacionadas às atividades humanas na região.

O período seco favoreceu a diatomáceas e clorofíceas, enquanto o período chuvoso favoreceu a presença das cianobactérias. A diferença nas densidades entre os dois períodos também foi relevante na compreensão das alterações, sugerindo ter sido causada por um fenômeno alteração de espessura da camada eufótica entre os períodos.

Ainda foi revelado que no período seco os valores mais baixos de turbidez, demanda química de oxigênio, alumínio dissolvido e ferro dissolvido estiveram relacionados com um provável fenômeno de eutrofização.

Os dados apresentados tem valor para futuras pesquisas no Rio Jequitinhonha, é sugerido a futuros estudos que procurem relacionar a qualidade da água com a identificação de fontes pontuais e não pontuais de contaminação.

### **Agradecimentos**

VERACEL papel e celulose, responsável por financiar o monitoramento hídrico. CETREL por realizar a coleta e análise da água, CAPES pelo financiamento da bolsa de mestrado, POSPETRO pela oportunidade e finalmente, toda a equipe do LABPLAN e associados.

### **Referências**

Ali M, Sreekrishnan T. Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review.

Adv Environ Res 2001;5:175–96. doi:10.1016/S1093-0191(00)00055-1.

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed. 2005.

Arimoro FO, Olisa HE, Keke UN, Ayanwale A V., Chukwuemeka VI. Exploring spatio-temporal patterns of plankton diversity and community structure as correlates of water quality in a tropical stream. Acta Ecol Sin 2018.

doi:10.1016/j.chnaes.2017.10.002.

Baker A. Land use and water quality. Hydrol Process 2003;17:2499–501.

doi:10.1002/hyp.5140.

Brandao IL de S, Mannaerts CM, Saraiva ACF. Seasonal variation of phytoplankton indicates small impacts of anthropic activities in a Brazilian Amazonian reserve.

Ecohydrol Hydrobiol 2017;17:217–26. doi:10.1016/J.ECOHYD.2017.04.001.

Burt TP, Howden NJK, Worrall F. On the importance of very long-term water quality records. Wiley Interdiscip 2014;1:41–8. doi:10.1002/wat2.1001.

Carrera-Martinez D, Mateos-Sanz A, Lopez-Rodas V, Costas E. Adaptation of microalgae to a gradient of continuous petroleum contamination. *Aquat Toxicol* 2011;101:342–50. doi:10.1016/j.aquatox.2010.11.009.

Chapman D V., Bradley C, Gettel GM, Hatvani IG, Hein T, Kovács J, et al. Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example. *Environ Sci Policy* 2016;64:141–54. doi:10.1016/j.envsci.2016.06.015.

Chien YC, Wu SC, Chen WC, Chou CC. Model Simulation of Diurnal Vertical Migration Patterns of Different-Sized Colonies of *Microcystis* Employing a Particle Trajectory Approach. *Environ Eng Sci* 2013;30:179–86. doi:10.1089/ees.2012.0318.

Costa LS, Huszar VLM, Ovalle AR. Phytoplankton functional groups in a tropical estuary: Hydrological control and nutrient limitation. *Estuaries and Coasts* 2009;32:508–21. doi:10.1007/s12237-009-9142-3.

Devercelli M, O'Farrell I. Factors affecting the structure and maintenance of phytoplankton functional groups in a nutrient rich lowland river. *Limnologia* 2013;43:67–78. doi:10.1016/j.limno.2012.05.001.

Gamito S. Caution is needed when applying Margalef diversity index. *Ecol Indic* 2010;10:550–1. doi:10.1016/j.ecolind.2009.07.006.

Gerência de Monitoramento de Qualidade das Águas - IGAM. BOLETIM ANUAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO E BAIXO RIO JEQUITINHONHA 2016.

IBGE. Censo 2010 2010. <https://censo2010.ibge.gov.br/> (accessed February 6, 2018).

INEMA. Relatório de Informações Hidrológicas e Meteorológicas.

Monitoramento.inema.ba.gov.br/planilhas/plu/ 2018.

INEMA. Programa Monitora: Relatório Anual de Qualidade das Águas do Estado da Bahia - Ano 2015 2015.

Lee RE. Phycology. Fourth. Cambridge University Press; 2008.

Lund JWG, Kipling C, Le Cren ED. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 1958;11:143–70. doi:10.1007/BF00007865.

Margalef R. Limnología. Ediciones Omega; 1983.

Meybeck M. Looking for water quality. *Hydrol Process* 2005;19:331–8. doi:10.1002/hyp.5778.

Neumann-Leitão S, Souza MRM, Porto Neto FF, Moura MCO, Silva AP, Gusmão LMO. Zooplâncton do estuário do rio São Francisco, Nordeste do Brasil. *Trab Ocean Da Univ Fed Do Pernambuco* 1999:33–54.

Padisák J, Crossetti LO, Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: A critical review with updates. *Hydrobiologia* 2009;621:1–19. doi:10.1007/s10750-008-9645-0.

Pereira PRB, Diniz HN, Gutjahr MR, Menegasse LN, Oliveira FR, Duarte U. O ZONEAMENTO CLIMÁTICO NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA, ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL 2018.

Pérez Hernández D, López JL. Alguno aspectos relevantes de la hidrología del Río Orinoco. *El Río Orinoco*, 1998, p. 138–154.

Reynolds CS. The ecology of phytoplankton. 2006. doi:10.1017/CBO9780511542145.

Reynolds CS, Descy J-P. The production, biomass and structure of phytoplankton in large rivers. *River Syst* 1996;10:161–87. doi:10.1127/lr/10/1996/161.

Reynolds CS, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores L, Melo S. Review Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J Plankton Res* 2002;24:417–28. doi:10.1093/plankt/24.5.417.

Rodrigues V, Estrany J, Ranzini M, de Cicco V, Martín-Benito JMT, Hedo J, et al. Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil). *Sci Total Environ* 2017;622–623:1553–61. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.10.028.

Shannon CE, Weaver W. *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL, USA: University of Illinois Press; 1963.

Sin Y, Wetzel RL, Anderson IC. Spatial and Temporal Characteristics of Nutrient and Phytoplankton Dynamics in the York River Estuary, Virginia: Analyses of Long-Term Data. *Estuaries* 1999;22:260. doi:10.2307/1352982.

Sin Y, Wetzel RL, Lee BG, Kang YH. Integrative ecosystem analyses of phytoplankton dynamics in the York River estuary (USA). *Hydrobiologia* 2006;571:93–108. doi:10.1007/s10750-006-0232-y.

Singh, P., Haritashya, U.K., Kumar N. Seasonal changes in meltwater storage and drainage characteristics of the Dokriani Glacier, Garhwal Himalayas (India). *Hydrology Res* 2004;35:15–29.

Team RC, (R Foundation for Statistical Computing). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* 2018.

Tundisi G, Matsumura T. *Limnology*. 2011.

Tundisi JG, Matsumura-Tundisi T, Abe DS. Climate monitoring before and during limnological studies: a needed integration. *Braz J Biol* 2007;67:795–6.

doi:10.1590/S1519-69842007000400034.

Tyokumbur ET, Okorie T. Studies on the distribution and abundance of plankton in Awba stream and reservoir, University of Ibadan. *Open J Ecol* 2013;3:273–8.

doi:10.4236/oje.2013.34031.

Uehlinger V. *Etude statistique des méthodes de dénombrement planctonique*. impr. A. Kundig; 1964.

Utermöhl H. *Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik*.

Stuttgart, Germany: Schweizerbart Science Publishers; 1958.

Yang JR, Lv H, Isabwe A, Liu L, Yu X, Chen H, et al. Disturbance-induced phytoplankton regime shifts and recovery of cyanobacteria dominance in two subtropical reservoirs. *Water Res* 2017;120:52–63. doi:10.1016/j.watres.2017.04.062.

Zhang Y, Shi K, Liu J, Deng J, Qin B, Zhu G, et al. Meteorological and hydrological conditions driving the formation and disappearance of black blooms, an ecological disaster phenomena of eutrophication and algal blooms. *Sci Total Environ* 2016;569–570:1517–29. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.06.244.

**APÊNDICE A:** Inventário florístico do fitoplâncton e frequência de ocorrência

Divisão	Táxon	FO	NL	FO	NL
		Chuvoso		Seco	
BACILLARIOPHYTA	<i>Achnantheidium sp1</i>	11%	P	44%	F
	<i>Amphora cf. montana</i>	33%	P	22%	P
	<i>Amphora copulata</i>	11%	P	0%	
	<i>Aulacoseira granulata</i>	78%	M	100%	M
	<i>Aulacoseira granulata var. angustissima</i>	89%	M	100%	M
	<i>Aulacoseira sp</i>	0%		33%	P
	<i>Capartograma crucicola</i>	11%	P	11%	P
	<i>Cocconeis placentula</i>	33%	P	78%	M
	<i>Cocconeis sp</i>	0%		33%	P
	<i>Cryptomonas cf. marssonii</i>	33%	P	22%	P
	<i>Cryptomonas ovata</i>	0%		33%	P
	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	44%	F	33%	P
	<i>Cyclotella sp1.</i>	33%	P	0%	
	<i>Cyclotella sp2</i>	11%	P	0%	
	<i>Cyclotella stelligera</i>	56%	F	67%	F
	<i>Cylindrotheca closterium</i>	0%		11%	P
	<i>Cymbella sp</i>	11%	P	56%	F
	<i>Encyonema sp1</i>	33%	P	67%	F
	<i>Encyonema sp2</i>	0%		33%	P
	<i>Epithemia sp.</i>	11%	P	0%	
	<i>Eunotia cf. incisa</i>	0%		22%	P
	<i>Eunotia sp</i>	56%	F	33%	P
	<i>Eunotia sp2</i>	22%	P	11%	P
	<i>Fragilaria goulardii</i>	11%	P	33%	P
	<i>Fragilaria sp</i>	11%	P	44%	F
	<i>Frustulia rhomboides</i>	22%	P	22%	P
	<i>Gomphonema cf. gracile</i>	0%		11%	P
	<i>Gomphonema cf. parvulum</i>	0%		22%	P
	<i>Gomphonema sp1</i>	44%	F	0%	
	<i>Gymnodinium sp1</i>	56%	F	67%	F
	<i>Gymnodinium sp2</i>	22%	P	44%	F
	<i>Gyrosigma scalproides</i>	11%	P	22%	P

	<i>Gyrosigma sp1</i>	0%		11%	P
	<i>Hantzschia amphioxys</i>	78%	M	78%	M
	<i>Navicula cf. capitatoriata</i>	0%		11%	P
	<i>Navicula cf. cryptocephala</i>	33%	P	67%	F
	<i>Navicula sp1</i>	11%	P	22%	P
	<i>Navicula sp2</i>	22%	P	44%	F
	<i>Navicula sp3</i>	44%	F	56%	F
	<i>Navicula sp4</i>	11%	P	11%	P
	<i>Nitzschia obtusa</i>	22%	P	22%	P
	<i>Nitzschia sigma</i>	11%	P	44%	F
	<i>Nitzschia sp1</i>	56%	F	56%	F
	<i>Nitzschia sp2</i>	22%	P	22%	P
	<i>Nitzschia sp3</i>	11%	P	22%	P
	<i>Penium silvae-nigrae</i>	11%	P	0%	
	<i>Pinnularia neomaior</i>	0%		22%	P
	<i>Planothidium sp</i>	0%		33%	P
	<i>Pleurosigma sp1</i>	11%	P	0%	
	<i>Pleurosigma angulatum</i>	0%		33%	P
	<i>Pleurosira cf. Laeneis</i>	22%	P	44%	F
	<i>Stauroneis sp.</i>	11%	P	0%	
	<i>Staurosira sp.</i>	11%	P	0%	
	<i>Surirella guatemalensis</i>	0%		11%	P
	<i>Surirella linearis var. constricta</i>	11%	P	33%	P
	<i>Surirella sp</i>	22%	P	89%	M
	<i>Synedra goulardii</i>	33%	P	33%	P
	<i>Synedra sp</i>	0%		11%	P
	<i>Trachelomonas volvocina</i>	0%		11%	P
	<i>Tryblionella cf. victoriae</i>	22%	P	0%	
	<i>Tryblionella sp2</i>	22%	P	11%	P
	<i>Ulnaria ulna</i>	33%	P	44%	F
<b>CHLOROPHYTA</b>	<i>Ankyra ancora</i>	33%	P	0%	
	<i>Botryococcus braunii</i>	11%	P	0%	
	<i>Closterium acutum</i>	67%	F	100%	M
	<i>Closterium gracile</i>	11%	P	0%	
	<i>Closterium lanceolatum</i>	0%		11%	P

<i>Closterium sp1</i>	11%	P	33%	P
<i>Cosmarium sp2</i>	0%		22%	P
<i>Cosmarium bireme</i>	11%	P	11%	P
<i>Cosmarium margaritifera</i>	11%	P	22%	P
<i>Cosmarium pseudopyramidatum</i>	0%		22%	P
<i>Cosmarium trilobulatum</i>	0%		22%	P
<i>Desmodesmus acuminatus</i>	22%	P	22%	P
<i>Desmodesmus brasiliensis</i>	0%		11%	P
<i>Desmodesmus quadricauda</i>	11%	P	11%	P
<i>Desmodesmus sp2 (quadricauda peq)</i>	0%		22%	P
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0%		11%	P
<i>Dictyosphaerium tetrachotomum</i>	11%	P	0%	
<i>Gonatozygon monotaenium</i>	11%	P	0%	
<i>Micractinium pusillum</i>	11%	P	0%	
<i>Monoraphidium contortum</i>	56%	F	67%	F
<i>Monoraphidium irregulare</i>	11%	P	56%	F
<i>Monoraphidium pusillum</i>	11%	P	0%	
<i>Nephrocytium sp</i>	11%	P	0%	
<i>Nephrocytium agardhianum</i>	11%	P	0%	
<i>Nephrocytium schilleri</i>	11%	P	0%	
<i>Oedogonium sp1</i>	0%		22%	P
<i>Oedogonium sp2</i>	0%		11%	P
<i>Oedogonium sp3</i>	0%		22%	P
<i>Oedogonium sp4</i>	0%		22%	P
<i>Oocystis lacustris</i>	11%	P	11%	P
<i>Pediastrum simplex</i>	0%		11%	P
<i>Pediastrum tetras</i>	11%	P	44%	F
<i>Pseudosphaerocystis</i>	22%	P	67%	F
<i>Raphidiocelis</i>	33%	P	0%	
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	0%		33%	P
<i>Scenedesmus acunae</i>	0%		33%	P
<i>Scenedesmus brevispina</i>	11%	P	0%	
<i>Scenedesmus disciformis</i>	11%	P	0%	

	<i>Scenedesmus ecornis</i>	44%	F	67%	F
	<i>Scenedesmus ecornis sp2</i>	0%		33%	P
	<i>Scenedesmus linearis</i>	33%	P	33%	P
	<i>Schroederia antillarum</i>	0%		22%	P
	<i>Schroederia indica</i>	33%	P	100%	M
	<i>Schroederia robusta</i>	22%	P	0%	
	<i>Schroederia setigera</i>	0%		33%	P
	<i>Selenastrum gracile</i>	22%	P	0%	
	<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	78%	M	78%	M
	<i>Spirogyra sp2</i>	33%	P	0%	
	<i>Staurastrum cf. gracile</i>	0%		56%	F
	<i>Staurastrum leptocladum</i>	0%		67%	F
	<i>Treubaria triappendiculata</i>	0%		22%	P
<b>CRYPTOPHYTA</b>	<i>Chroomonas nordstedtii</i>	0%		33%	P
<b>CYANOPHYTA</b>	<i>Aphanocapsa sp1</i>	33%	P	44%	F
	<i>Aphanocapsa sp2</i>	0%		22%	P
	<i>Aphanocapsa sp3</i>	0%		11%	P
	<i>Chroococcus cf. Distans</i>	0%		22%	P
	<i>Chroococcus limneticus</i>	33%	P	0%	
	<i>Heteroleibleina sp1</i>	11%	P	0%	
	<i>Heteroleibleina sp2</i>	0%		33%	P
	<i>Lyngbya sp2</i>	11%	P	0%	
	<i>Merismopedia glauca</i>	0%		11%	P
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	0%		22%	P
	<i>Oscillatoria sp2</i>	0%		11%	P
	<i>Phormidium sp1</i>	78%	M	33%	P
	<i>Phormidium sp2</i>	11%	P	0%	
	<i>Phormidium sp3</i>	22%	P	11%	P
	<i>Phormidium tergestinum</i>	0%		33%	P
	<i>Pseudanabaena catenata</i>	0%		11%	P
	<i>Pseudanabaena sp1</i>	89%	M	44%	F
<b>DINOPHYTA</b>	<i>Peridinium umbonatum</i>	0%		11%	P
<b>EUGLENOPHYTA</b>	<i>Euglena sp</i>	44%	F	0%	
	<i>Phacus sp1</i>	0%		11%	P

## Conclusões

Esse estudo demonstrou as respostas da qualidade da água, em um grande rio tropical, a variações climáticas e hidrológicas sazonais e interanuais. Baseado nos métodos estatísticos utilizados, uma resposta sazonal dos parâmetros da qualidade da água foi identificada.

Na análise multivariada ainda foi possível identificar que há um agrupamento entre a coleta no período seco e no período chuvoso, apresentando uma sazonalidade marcante.

Foi possível observar que variáveis relevantes para a saúde do ecossistema como a temperatura, condutividade, pH, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, tiveram variabilidade significativa entre os períodos

A resposta da estrutura da comunidade e grupos funcionais do fitoplâncton a alterações da carga de micronutrientes, elementos traço e parâmetros físico-químicos no corpo d'água de um grande rio brasileiro, em função da sazonalidade foram investigadas.

Genericamente, os estudos indicaram que as alterações no fitoplâncton foram geradas pela sazonalidade, com destaque para as variáveis abióticas como a turbidez, a demanda química de oxigênio, a condutividade, o alumínio e o ferro dissolvidos.

O presente estudo indicou que a demanda química de oxigênio, o alumínio dissolvido e a turbidez foram os principais fatores a influenciar nas alterações na composição e estrutura do fitoplâncton, podendo estar relacionadas às atividades humanas na região.

O período seco favoreceu a diatomáceas e clorofíceas, enquanto o período chuvoso favoreceu a presença das cianobactérias. A diferença nas densidades entre os dois períodos também foi relevante na compreensão das alterações, sugerindo ter sido causada por um fenômeno alteração de espessura da camada eufótica entre os períodos.

Ainda foi revelado que que no período seco os valores mais baixos de turbidez, demanda química de oxigênio, alumínio dissolvido e ferro dissolvido estiveram relacionados com um provável fenômeno de eutrofização.

Os dados apresentados tem valor para futuras pesquisas no Rio Jequitinhonha, considerando a relevância econômica, cultural e histórica da bacia do Jequitinhonha.