

Artigo

Monitoramento da Qualidade da Água da Foz do Rio Santa Maria da Vitória e da Baía de Vitória–ES, por Meio de Estudos Sistemáticos de Parâmetros Físico-Químicos e Biológicos

da Silva, T. T.; do Espírito Santo, K. S.; Matsumoto, S. T.; Ribeiro, J.*

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (5), 1373-1392. Data de publicação na Web: 06 de setembro de 2018

<http://rvq.sbq.org.br>

Monitoring of the Water Quality of the Foz of Santa Maria da Vitória River and the Vitória Bay-ES, by Systematic Studies of Physical-Chemical and Biological Parameters

Abstract: The objective of this paper was to determine the physico-chemical and biological parameters of the water of the Santa Maria da Vitória-ES River and the Vitória bay-ES from May to November 2016 and March to June 2017, and six collection points were monitored. The values of concentration of Cd and Pb metals are below the limits of quantification the technique. For the Cr, Ni, Fe, Zn and Mn metals are within the limits established by CONAMA and the arsenic metal was above the established value (greater than 0.0014 mg L⁻¹) for fishing regions. The *Allium Cepa* root growth toxicity analysis was adapted for brackish water analysis and showed good results, and no sample evaluated showed significant toxicity. Regarding the mitotic index, no significant differences were observed between the positive control and the other treatments, however, the study showed a drop in the mitotic index in the proximity of the sea, it is a strong indication of pollution of the body of water in the analyzed region.

Keywords: ICP-MS; mitotic index; *Allium cepa*; trace elements.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo determinar os parâmetros físico-químicos e biológicos da água do Rio Santa Maria da Vitória/ES e da baía de Vitória/ES no período de maio a novembro de 2016 e março a junho de 2017, sendo monitorados seis pontos de coleta. Os valores de concentração dos metais Cd e Pb se encontraram abaixo dos limites de quantificação da técnica. Para os metais Cr, Ni, Fe, Zn e Mn os valores estavam dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA. Contudo, a concentração de arsênio apresentou-se acima do valor estabelecido (maior que 0,0014 mg·L⁻¹) para regiões de pesca. A análise de toxicidade pelo crescimento radicular da *Allium Cepa* foi adaptada para análise em águas salobras e apontou bons resultados, nenhuma das amostras avaliadas apresentou toxicidade significativa. Quanto ao índice mitótico, não se observou diferenças consideráveis entre o controle positivo e os demais tratamentos, entretanto, o estudo apresentou uma queda do índice mitótico na proximidade do mar, sendo este um forte indicativo de poluição do corpo d'água nesta região.

Palavras-chave: ICP-MS; Índice mitótico; *Allium cepa*; Elementos traços.

* Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Química, CEP 29075-073, Vitória-ES, Brasil.

✉ tainatural@gmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20180094](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180094)

Monitoramento da Qualidade da Água da Foz do Rio Santa Maria da Vitória e da Baía de Vitória – ES, por Meio de Estudos Sistemáticos de Parâmetros Físico-Químicos e Biológicos

Taina Tural da Silva,* Kamila Soares do Espírito Santo, Silvia T. Matsumoto e Josimar Ribeiro

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Química, CEP 29075-073, Vitória – ES, Brasil.

* tainatural@gmail.com

Recebido em 27 de abril de 2018. Aceito para publicação em 21 de agosto de 2018

1. Introdução

2. Metodologia

2.1. Análise dos parâmetros físico-químicos

2.2. Determinação dos elementos traços

2.3. Análise de toxicidade

3. Resultados e Discussão

3.1. Turbidez

3.2. Salinidade

3.3. Temperatura

3.4. Oxigênio Dissolvido

3.5. Potencial Hidrogeniônico

3.6. Elementos traços

3.7. Toxicidade

4. Considerações Finais

1. Introdução

A água é de extrema importância para a vida de todos os seres vivos que habitam a Terra. Embora este recurso seja encontrado em abundância em nosso planeta, 97,3 % são de oceanos, e somente 2,7 % são de água doce, que é própria para o consumo e para atividades agrícolas, e dentro desse

percentual somente 0,3 % são de rios e lagos, que é menos de 0,01 % do total de água.¹ A qualidade da água varia ao longo do tempo e de acordo com a localização, pois está relacionada tanto à ação antrópica quanto a causas ou fatores naturais. Com o crescimento da população e desenvolvimento urbano, se não houver um correto planejamento ambiental, a ação humana pode resultar na contaminação dos mananciais de abastecimento público.²

O Rio Santa Maria da Vitória está localizado no estado do Espírito Santo e é um dos rios mais importantes desta grande metrópole, pois é responsável pelo abastecimento por grande parte do município da Serra, de Cariacica, região de Praia Grande, Fundão e da cidade de Vitória, além disso, abastece também grandes plantas industriais do estado, tais como: Vale, Arcelor Mittal e demais indústrias do município da Serra. O rio nasce no Município de Santa Maria de Jetibá, numa região chamada de Alto Santa Maria, percorre aproximadamente 122 km e desemboca no Oceano Atlântico. Na baía de Vitória, ele conta com duas represas e usinas de energia: Rio Bonito e Suíça. A vazão média diária do rio é de 2.364,34 L/s e a área da bacia é 1,84 mil km².³

O Rio Santa Maria e seus afluentes também sofrem com poluição, devido à falta de sistemas de tratamento de resíduos de esgoto doméstico, de efluentes industriais, agrícolas, com a retirada da cobertura vegetal e com o assoreamento.⁴

A baía de Vitória é um estuário que liga o rio Santa Maria ao mar, um dos principais cartões postais da cidade de Vitória, é um ponto turístico e de importância fundamental para a economia capixaba e, também, fundamental para a manutenção do ecossistema existente.⁵ Como estuário, a baía apresenta características funcionais únicas dentre todos os ecossistemas aquáticos, pois são importantes como “berçários”, servindo de abrigo e área para reprodução de centenas de espécies de peixes, aves, plantas, crustáceos, moluscos e outros tipos de microrganismos. Apesar de serem sistemas altamente adaptados às variações climáticas e ambientais, com grande recuperação e

resistência às intempéries naturais, os estuários e demais áreas costeiras demonstram também uma enorme fragilidade ambiental, já que são facilmente perturbados e, muitas vezes, de modo irreversível pelas atividades humanas.⁶

Diante da importância destes dois corpos d'água, rio Santa Maria da Vitória e baía de Vitória, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água com base nos limites estabelecidos pela resolução vigente do CONAMA n° 357/05, por meio da utilização de ferramentas que puderam determinar os seguintes parâmetros físico-químicos *in loco*: temperatura e oxigênio dissolvido, e por amostragem: pH, condutividade, salinidade, turbidez, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis; quantificação de elementos traços como: arsênio, ferro, manganês, cádmio, cromo, chumbo, níquel e zinco por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP MS); e a realização de teste de fitotoxicidade avaliando a germinação e o crescimento radicular de *Allium cepa* e avaliar a citotoxicidade das amostras utilizando o teste de *Allium cepa*.

2. Metodologia

A área de estudo abrange seis pontos de monitoramento que se encontram expostos na Figura 1 e as suas coordenadas geográficas estão descritas na Tabela 1.

Foram realizadas cinco coletas entre maio e novembro de 2016 e seis coletas entre março e julho de 2017, os períodos de cada coleta estão descritos na Tabela 2.

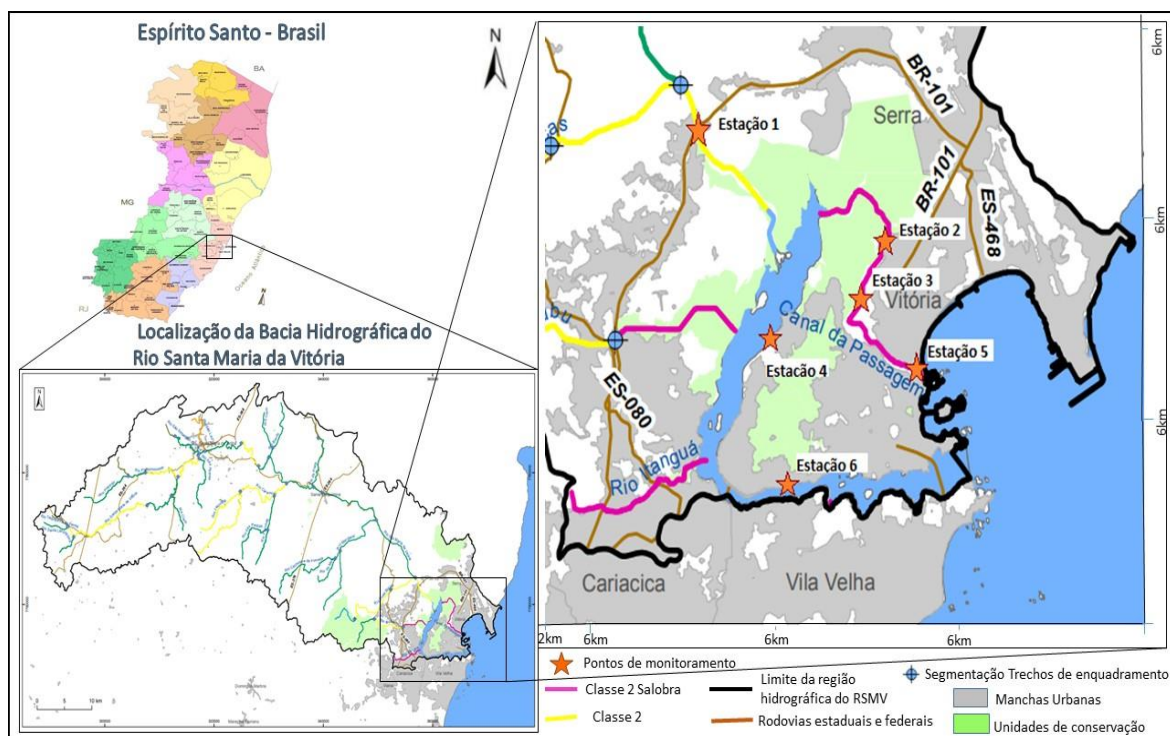


Figura 1. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória e da Baía de Vitória no Estado do Espírito Santo, e os seis pontos de monitoramento. Fonte: AGERH.⁷

Tabela 1. Coordenadas Geográficas (UTM) e a descrição dos pontos de coleta

Pontos	Descrição	Coordenadas (S)	Coordenadas (W)
E1	Localizado na Rod. Do Contorno, próximo à empresa MERCOCAMP.	20°13'35.3"	40°21'48.3"
E2	Localizado próximo ao bairro Maria Ortiz.	20°15'19.3"	40°18'00.4"
E3	Localizado próximo a UFES.	20°16'57.0"	40°18'24.6"
E4	Localizado próximo à Ilha das Caieiras.	20°16'55.2"	40°20'22.6"
E5	Localizado próximo à ponte Ayrton Senna.	20°17'34.9"	40°17'33.4"
E6	Localizado próxima ao Colégio Salesiano.	20°19'06.0"	40°19'11.8"

Tabela 2. Meses correspondentes as coletas dos anos de 2016 e 2017

COLETAS	PERÍODO DE 2016	PERÍODO DE 2017
1ª COLETA	Maio/Junho (Outono)	Março (Outono)
2ª COLETA	Junho/Julho (Inverno)	Abril (Outono)
3ª COLETA	Julho/Agosto (Inverno)	Abril (Outono)
4ª COLETA	Agosto/Setembro (Inverno/Primavera)	Maio (Outono)
5ª COLETA	Setembro/Outubro (Primavera)	Maio (Outono)
6ª COLETA	-	Junho (Outono)

Para a coleta das amostras foi utilizada a técnica de coleta de águas superficiais, segundo orientação da Agência Nacional de Águas (ANA), por meio do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de 2011.⁸

Os frascos utilizados para o estudo dos parâmetros físico-químicos foram lavados e escovados com detergente e esfregão, enxaguados com água corrente e, em seguida, com água destilada. Por fim, foram emborcados em estufa a 35°C até secagem completa. Após resfriamento, os frascos foram fechados e devidamente armazenados.

Os tubos de polipropileno, utilizados para a análise de elementos traços, foram descontaminados por meio do uso de enxague com água ultrapura (resistividade 18,2 MΩ.cm), seguido por imersão em solução Extran® (detergente neutro) 5 % (v/v), por 24h. Em seguida, foram enxaguados novamente com água pura até completo enxague da solução detergente e imersos em solução de HNO₃ 15 % (v/v), por 24h. Posteriormente os tubos foram enxaguados com água ultrapura e secos à temperatura ambiente em local livre de poeira.

2.1. Análise dos parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos determinados foram: temperatura, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, condutividade, sólidos totais, salinidade, elementos traços e toxicidade. As medidas de temperatura e oxigênio dissolvido foram realizadas no ato da coleta, por meio da imersão à 15 cm da superfície da água de sonda para oxigênio dissolvido acoplada a espectrorradiômetro portátil (Lutron – AE61562, com precisão de 5 %), previamente calibrado. O potencial hidrogeniônico e a temperatura em laboratório, foram medidos utilizando pHmetro de bancada (Metrohm – 827pH lab, com precisão de ± 0,003), previamente calibrado com soluções padrões de pH 4 e 7 (Nalgon – Brasil). Para a medição da condutividade iônica foi utilizado condutivímetro (MS Tecnopon Instrumentação – mCA 150, com precisão de 5 %) previamente calibrado com solução KCl 0,001mol.L⁻¹, a qual equivale a 146,9 μS.cm⁻¹, a constante de trabalho foi K = 1. A turbidez foi medida utilizando turbidímetro (MS Tecnopon Instrumentação – TB 100, com precisão de 2 %), previamente calibrado com

padrões 0; 10; 0,80; 8; 80 e 1000 UNT. Sólidos totais, fixos e voláteis seguiram o procedimento de acordo com Matos.⁹

Para a determinação da salinidade preparou-se oito soluções salinas utilizando NaCl nas seguintes concentrações: 0,0; 0,25; 0,50; 1,0; 5,0; 15, 20, 30, 50 g.kg⁻¹. Mediu-se as condutividades das soluções. As medidas das condutividades foram feitas em ordem crescente de concentração, para evitar contaminação do eletrodo e das soluções.

2.2. Determinação dos elementos traços

Para a análise de metais as amostras foram diluídas 5 vezes em virtude da sua salinidade. Foi utilizado um ICP-MS 7500 da Agilent (Califórnia), as condições de operação do ICP-MS foram Cone e skimmer: Ni, Nebulizador: Micro flow, potência da rádio frequência de 1500 W, vazão do gás carreador: 0,94 L.min⁻¹, Vazão do gás de Makeup: 0,15 L.min⁻¹, bomba de nebulização: 0,10 L.min⁻¹, os elementos analisados foram: chumbo, cádmio, ferro, cromo, zinco, níquel, manganês e arsênio.

2.3. Análise de toxicidade

Para avaliação do índice de germinação e da fitotoxicidade, foram utilizadas 50 sementes de *Allium cepa* da variedade Baia Periforme por placa de Petri, sendo este procedimento realizado em triplicata. As placas foram forradas com papel de filtro e umedecidas com as amostras, previamente diluídas. A necessidade da diluição se deu devido a elevada condutividade das amostras, o que, segundo Lima e Bull (2008)¹⁰, causa a inibição da germinação. Logo, todas as amostras foram diluídas para que suas condutividades fossem próximas de 4,0 mS.cm⁻¹. As sementes foram molhadas com os seguintes tipos de água: água ultrapura Mili-Q (controle negativo), água mineral comercial e água salina com condutividade próxima a 4,0 mS.cm⁻¹. A exposição ao tratamento se deu

por 120 h à 24 °C. Após o tratamento, foram contadas as sementes germinadas, e medidas as raízes com auxílio de um paquímetro digital. Este procedimento foi realizado para todas as amostras de água coletadas.

Para o estudo citogenético, realizou-se o mesmo procedimento acima descrito, contudo, utilizou-se 5 repetições para cada tratamento com 30 sementes em cada placa. Junto as amostras foram utilizadas água ultrapura (controle negativo), água mineral comercial, água salina com condutividade próxima a 4,0 mS.cm⁻¹ e solução de Trifluralina 0,84 g.L⁻¹ como controle positivo. A exposição ao tratamento se deu por 120 h à 24 °C. Ao término do tratamento, as raízes foram fixadas em Carnoy 3:1 (três partes de etanol para uma de ácido acético), sendo que a solução de Carnoy foi renovada nos primeiros 15 minutos de exposição, por ao menos 24 horas antes da realização dos ensaios citogenéticos.

As raízes fixadas em Carnoy 3:1 foram submetidas à hidrólise ácida em HCl 1mol.L⁻¹ (60 °C) por 9 minutos e, em seguida, lavadas com água destilada. Posteriormente as amostras foram submetidas ao método de coloração de Feulgen (Feulgen e Rossenbeck, 1924), no qual as raízes são expostas ao reativo de Schiff, por duas horas na ausência de luz.

Para o preparo das lâminas foram utilizadas as células meristemáticas, as quais foram colocadas na lâmina com uma gota de carmim acético 1 % (m/v), recoberto por lamínula e espalhadas na lâmina pelo método de esmagamento suave.

Foram analisadas 1000 células por lâmina e cinco lâminas por tratamento, totalizando 5000 células por tratamento. Para a avaliação citogenética, utilizaram-se as amostras apenas da 6ª coleta, referente ao final do outono.

Utilizou-se como parâmetro de citotoxicidade o índice mitótico (IM) (Eq. 1), onde foram contadas as células em prófase, metáfase, anáfase e telófase dividido pelo

número total de células observadas em cada tratamento, multiplicado por 100.

$$IM = \frac{(n^{\circ}totaldecélulasemdivisão)}{(n^{\circ}totaldecélulas analisadas)} \cdot 100 \quad (Eq. 1)$$

Para determinar a genotoxicidade utilizou-se o índice de aberrações cromossômicas (AC), no qual foram consideradas as alterações nos estágios da divisão celular (prófase, metáfase,

anáfase e telófase), como: ponte, C-metáfase, anáfase multipolar, atraso, aderência e perda cromossômica. Para este cálculo utilizou-se a seguinte equação (Eq. 2).

$$AC = \frac{(n^{\circ}totaldecélulascomaberraçõescromossômicas)}{(n^{\circ}totaldecélulas analisadas)} \cdot 100 \quad (Eq. 2)$$

Para os tratamentos estatísticos das amostras de 2016 foi realizado ANOVA seguindo pelo teste de Duncan ($p > 0,05$), e para as amostras de 2017 foi feito o teste de Tukey ($p > 0,05$).¹¹ O programa utilizado foi o InfoStat.

3. Resultados e Discussão

As análises dos parâmetros físico-químicos proporcionaram uma interpretação da qualidade da água do estuário da baía de Vitória, considerando como parâmetro os valores limites estabelecidos na Resolução nº 357/2005 do CONAMA. O ponto E1 está localizado na foz do rio Santa Maria da Vitória/ES, de acordo com o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) este ponto pertence a Classe 2 de águas doces, e os outros pontos pertencem a Classe 2 de águas salobras.^{7,12}

3.1. Turbidez

A Resolução nº 357/2005 do CONAMA não estabelece limites de turbidez para águas salobras e salinas, apenas para água doce, que é de 40 UNT. A Figura 2 apresenta os

resultados obtidos para turbidez nas coletas em 2016 (A) e em 2017 (B).

A turbidez expressa a quantidade de sólidos que estão em suspensão, a alta concentração de sólidos e de turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e das algas, esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Com a redução da fotossíntese o CO₂ proveniente da respiração dos animais aumenta e causa elevação do pH da água.¹³

As amostras da 5ª e 6ª coleta do ponto E1 na Figura 2A apresentaram valores mais altos do que as amostras dos outros pontos, que pode ser devido à localização do ponto de coleta. O ponto E1 está situado logo abaixo da ponte onde há grande fluxo de carros e caminhões que pode ter contribuído para a suspensão dos sólidos, e a 5ª coleta do ponto E1 foi feita num período de maré baixa, onde a suspensão dos sólidos no momento da coleta é maior.¹⁴

Figura 2B mostra os resultados para o ano de 2017, onde é possível constatar uma discrepância dos valores de turbidez na 6ª coleta para os pontos E3 e E4, as quais podem ter sido causadas por despejo recente de efluente ou por aumento do traslado de embarcações, por serem pontos de grande movimento de pesca. Durante todas as coletas, o ponto E6 apresentou os maiores

valores de turbidez, tendo um aumento em comparação ao ano anterior. O ponto E6 recebe uma vazão alta de despejo de águas pluviais da cidade de Vitória, além disso, essa região está localizada próximo ao mar e assim sofre constantemente grandes influências das ondas marítimas. Estudos feitos por LOSS S.¹⁵

na baía de Vitória, mostraram um valor de turbidez variando de 6,0 a 12 UNT. Neste trabalho a faixa de turbidez foi de 0,393 a 29,9 UNT em 2016 e 2,7 a 95 UNT em 2017. Isto indica que provavelmente ocorreu um aumento das ações antrópicas neste local, durante o período investigado.

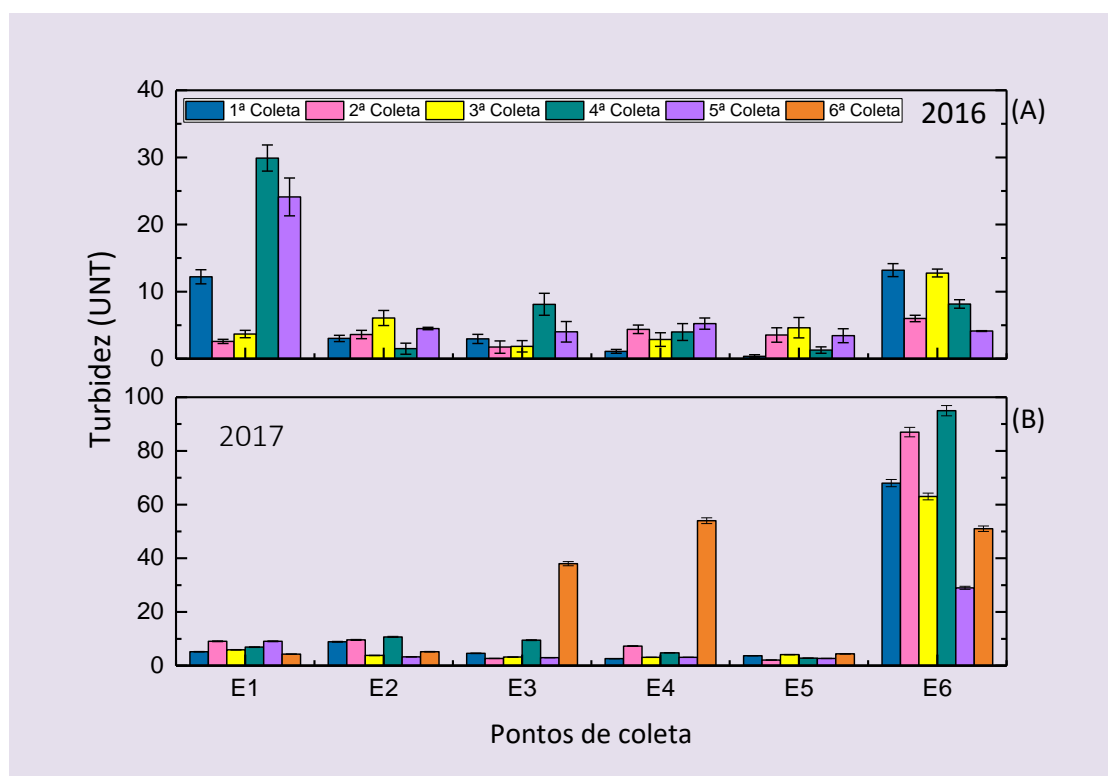


Figura 2. Valores de turbidez das amostras de água superficial de 2016 (A), e de 2017 (B), com suas respectivas barras de desvio padrão.

3.2. Salinidade

Os valores de salinidade estão apresentados na Figura 3A que se refere ao ano de 2016 e na Figura 3B referente ao ano de 2017.

De acordo com os conceitos adotados na resolução CONAMA n° 357/2005, entende-se por: água doce: toda aquela cuja salinidade for igual ou inferior a 0,5 ‰; água salobra: toda aquela cuja salinidade estiver entre 0,5‰ e 30‰; água salina: toda aquela cuja salinidade for igual ou superior a 30 ‰.¹²

Somente as amostras da 1ª coleta do ponto E4 e da 4ª coleta do ponto E6 da Figura 3A, apresentaram valores de água salina. No dia da 1ª coleta do ponto E4 no ano de 2016, se encontrava com o tempo ensolarado, logo, esse valor pode estar atribuído a baixa pluviosidade que diminui a diluição dos sais em água, corroborando para esses valores altos de salinidade. Além disso, a maré estava alta, favorecendo às características salinas. A 1ª coleta do ponto E6 também foi feita em maré alta, como é um ponto de coleta mais próximo do mar isso pode ter atribuído valores de águas salinas.^{16,17}

Quando a água do rio se encontra com a água salina, devido a densidade, a água salina tende ficar na parte inferior e a do rio na parte superior, mas devido à baixa vazão do rio, a salinidade tende a aumentar à medida que chega mais próximo ao mar.¹⁷

Na Figura 3B observam-se os resultados de salinidade relativo ao período de 2017. É possível observar que o ponto E1 apresenta uma variação considerável de salinidade, se destacando a 5ª e a 6ª coleta. Isso se dá devido ao aumento da vazão do rio Santa Maria da Vitória ocasionado pelas chuvas nesse período de estudos. Pela classificação de águas por salinidade prevista na CONAMA nº 357/2005, o ponto E1 pode ser considerado água doce apenas no período da 5ª coleta, se mostrando salobra nas demais coletas.

O ponto E2 permaneceu como água salina durante o período referente a 1ª coleta a 4ª coleta. Durante o período de maior vazão do rio, o ponto E2 se manteve como água salobra. O mesmo pode ser observado nos pontos E3, E4 e E5. O ponto E6 se manteve salobra

durante todo o período de coleta, exceto na 3ª coleta. No que se refere ao ponto E6, é importante destacar que a coleta foi feita na interface entre despejo de efluente e água do mar.

Comparando a variação de salinidade do ponto E1 com os demais pontos no período de maior vazão, o qual se refere a 5ª coleta, pode-se observar que o ponto E1 é o ponto que sofre menor interferência do mar. Apesar das demais estações terem suas salinidades diminuídas no período em questão, a discrepância foi menor, confirmando o perfil de estuário destas estações.

Estudos realizados em pontos próximos aos adotados nesta pesquisa, publicados por Jesus *et al.*¹⁸, verificou-se valores de salinidade variando de 16 a 25 %, caracterizando as águas como salobras. É importante ressaltar que a interferência das marés altas foi minimizada, uma vez que todas as coletas foram realizadas em marés baixas e horários próximos, no ano de 2017.

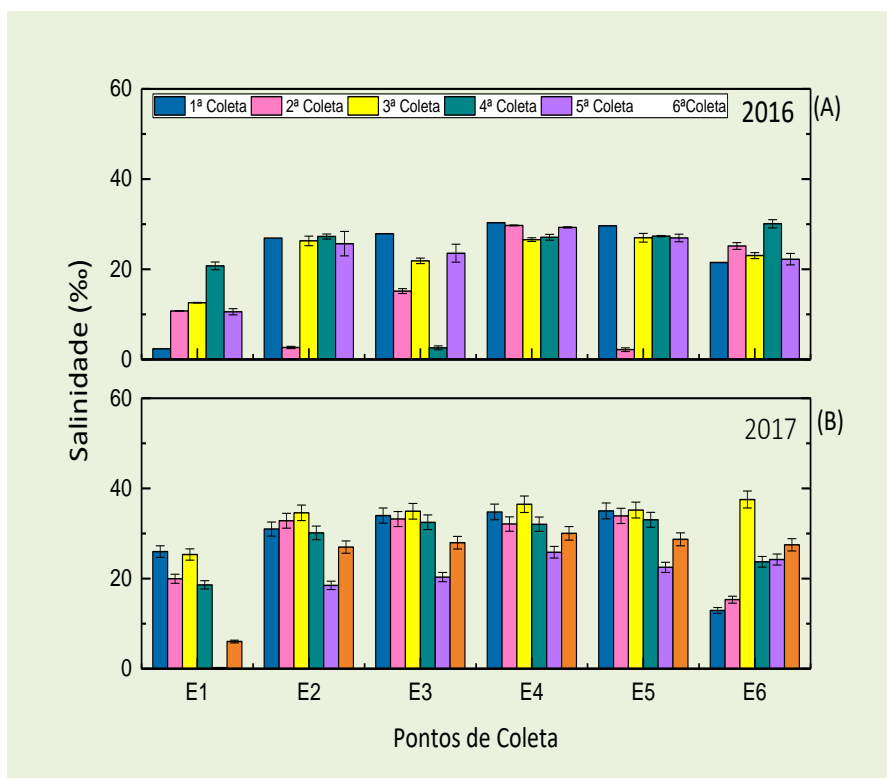


Figura 3. Valores de salinidade das amostras de água superficial de 2016 (A), e de 2017 (B), com suas respectivas barras de desvio padrão.

3.3. Temperatura

Na Figura 4A, tem-se a relação das medidas de temperatura das amostras de cada ponto do ano de 2016 e a Figura 4B do ano de 2017.

A maioria das temperaturas ficou dentro de uma faixa de 20 a 28°C, porém a 3ª coleta do ponto E4 de 2016, apresentou uma temperatura de 30°C, que pode ser devido a condições climáticas do dia da coleta.

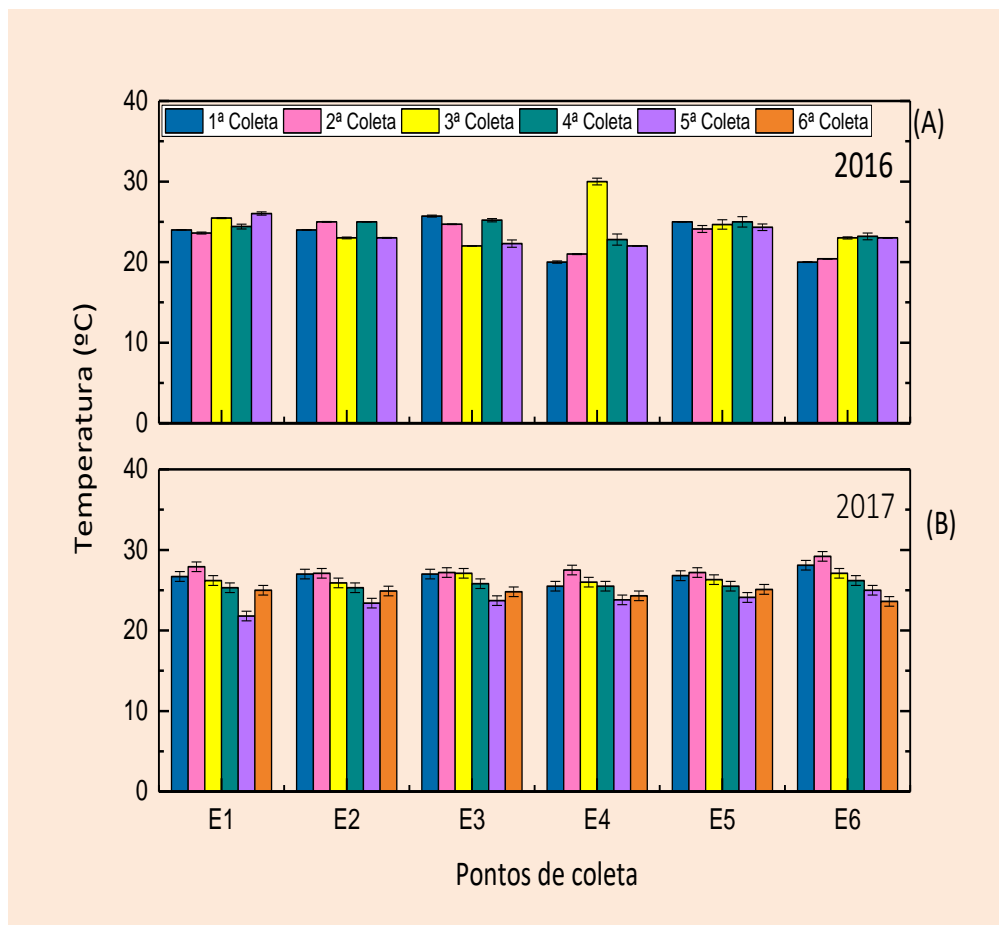


Figura 4. Valores da temperatura das amostras de água superficial de 2016, medidos em laboratório (A), e de 2017, medidos em campo (B), com suas respectivas barras de desvio padrão.

Destaca-se a importância da análise da temperatura dos corpos d'água devido sua grande influência nos processos de solubilidade, inclusive do oxigênio, o qual possui menor solubilidade à elevadas temperaturas.¹⁷

Segundo Jesus *et al.*¹⁸ a variação da temperatura na baía de Vitória em 2004 foi pequena, entre 22,3 a 27,3°C, devido a poucas variações climáticas entre a estação chuvosa e a seca. As temperaturas dessa região quando

estudadas em 2004 e neste trabalho (2016/2017) se encontram bem próximas, mostrando pouca variação com o passar dos anos.

3.4. Oxigênio Dissolvido

A Figura 5 mostra os resultados de oxigênio dissolvido do período de 2016 (A) e 2017 (B).

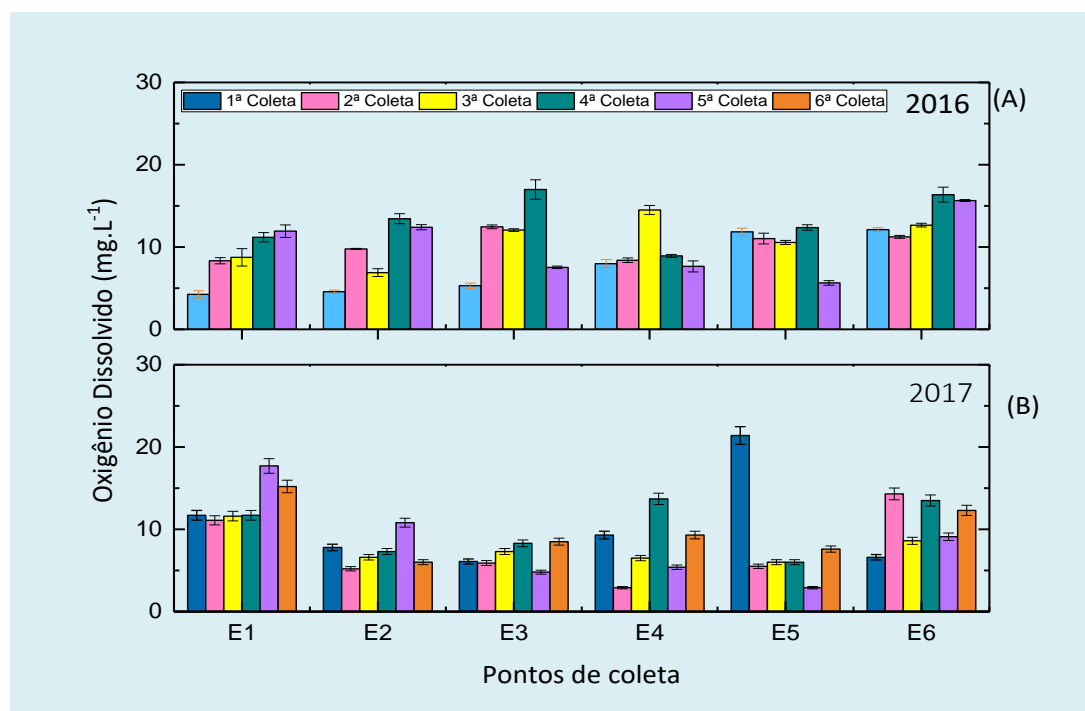


Figura 5. Valores do oxigênio dissolvido (OD) das amostras de água superficial de 2016 (A), e de 2017 (B), com suas respectivas barras de desvio padrão.

De acordo com o CONAMA n° 357/05 os valores limites para OD são de $\geq 4,0 \text{ mg L}^{-1}$, logo, os resultados obtidos estão aceitáveis. Como as águas coletadas foram águas superficiais, essa região tem níveis de oxigênio dissolvido próximos à saturação, condição que se deve tanto ao seu contato com o ar quanto à presença de O_2 produzido na fotossíntese das algas e plantas aquáticas.¹ No ano de 2016 (Figura 5A) a quantidade de oxigênio dissolvido no ponto 1 para as 1ª e 2ª coletas foram menores que das amostras 3ª, 4ª e 5ª coletas, isso pode ser devido a 1ª e 2ª coletas terem sido feitas em um período de seca com um tempo ensolarado, que diminui a quantidade de oxigênio dissolvido na superfície da água. As 4ª e 5ª coletas tiveram quantidades de oxigênio dissolvido maiores, as quais foram feitas no período da primavera, em que há ocorrência de pancadas de chuvas, aumentando a concentração de OD nas águas superficiais. E no ponto E6 também teve um aumento de oxigênio dissolvido na 4ª e 5ª coletas que correspondem aos períodos chuvosos.

A salinidade também contribui para valores obtidos de oxigênio dissolvido, pois,

quanto maior a salinidade menor é a quantidade de oxigênio dissolvido. A 5ª coleta do ponto E5 teve uma concentração de OD baixa para um período chuvoso, isso pode ser devido a uma concentração maior de salinidade, e no ano de 2017 (Figura 5B) a estação 1 apresentou maiores teores de OD, devido à baixa salinidade da região. Estudos realizados por Eschirique¹⁹ no estado do Ceará, em Jaguaribe, mostrou que a concentração de OD em águas salobras possuem teores médios de $6,3 \text{ mg L}^{-1}$, $5,2 \text{ mg L}^{-1}$ e $7,0 \text{ mg L}^{-1}$ (%OD: 98,8 %, 79,5 % e 94,9 %) respectivamente, podendo ser considerado como ambiente saturado a supersaturado. Jesus *et al.*,¹⁸ que analisou amostras de água em vários pontos da baía de Vitória encontrou teores menores de oxigênio dissolvido, variando de $2,0$ a $6,0 \text{ mg L}^{-1}$. Em 2016 e 2017 esse teor foi maior, mostrando que o oxigênio dissolvido oscila com dependência de vários fatores como salinidade, turbidez e temperatura.

3.5. Potencial Hidrogeniônico

Na Figura 6A tem-se as distribuições das medidas de pH de 2016 que variou cerca de 5,7 a 7,8. As estações E1 e E4 mostraram

valores de pH levemente mais ácido do que das outras estações, no ano de 2016. Na Figura 6B tem-se os valores de pH para o ano de 2017. A faixa ideal de pH para essa região de acordo com a resolução CONAMA n° 357/05 é de 6,5 a 8,5.

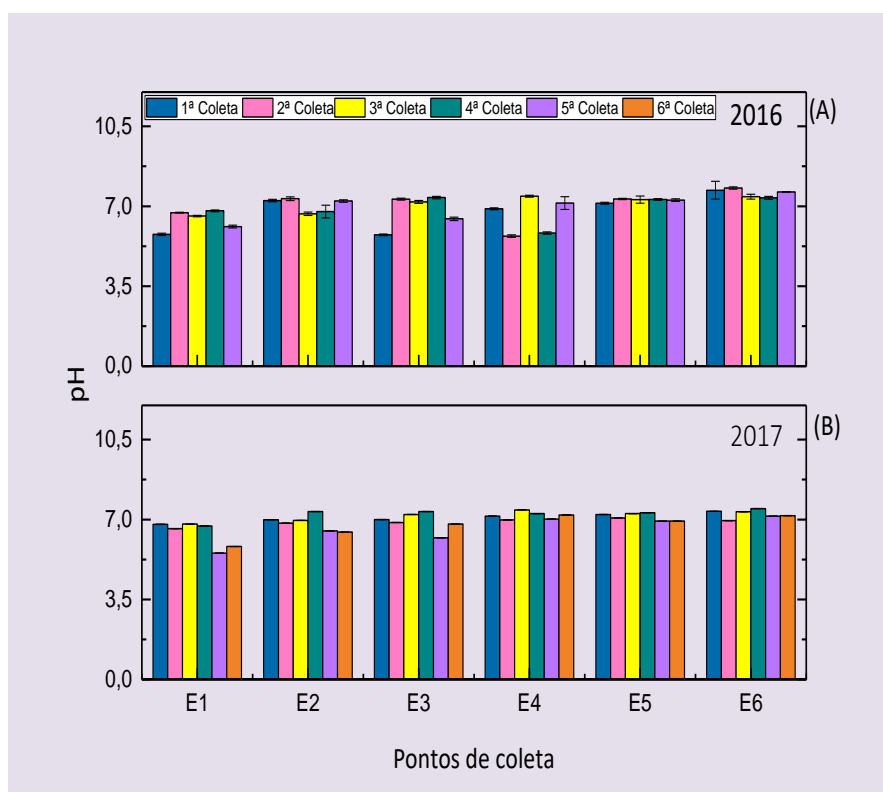


Figura 6. Variações do pH das amostras de água superficial de 2016 (A), e de 2017 (B), com suas respectivas barras de desvio padrão.

As coletas que apresentaram valores fora dos limites estabelecido pelo CONAMA para pH, foram a 1ª e a 5ª coleta do ponto E1, a 1ª coleta do ponto E3, e a 2ª e 4ª coleta do ponto E4, para o ano de 2016. A 1ª, 2ª e 3ª coletas foram realizadas no outono e no inverno, consideradas um período de seca no estado do Espírito Santo, e a 4ª e 5ª coleta na primavera que é o início de um período chuvoso.¹⁵ No outono e inverno, pela falta de chuva os rios e os estuários podem apresentar um pH mais ácido, pois haverá maior concentração de matéria orgânica, e quanto maior a quantidade de matéria orgânica disponível, menor o pH, uma vez que para haver decomposição de matéria orgânica, são

produzidas muitas substâncias ácidas como, por exemplo, o ácido húmico. O pH é muito influenciado pela quantidade de matéria orgânica a ser decomposta, isto é, o pH pode ser considerado como uma das variáveis ambientais mais importantes, e é uma das mais difíceis de interpretar. Tal complexidade é resultante dos inúmeros fatores que podem influenciá-lo, podendo estar relacionado a fontes de poluição difusa.²⁰

Na Figura 6A os resultados de pH para a 1ª e 5ª coleta do ponto E1, a 1ª coleta do ponto 3, 2ª e 4ª coleta do ponto E4 se encontraram abaixo do permitido pelo CONAMA. O pH da amostra da 1ª coleta do ponto E1 foi de 5,77, que pode ser devido à baixa quantidade de

oxigênio dissolvido que foi de 4,25 mg/L e turbidez de 12,2 UNT e pela estação do ano ser o outono, onde não houve chuvas próximas ao dia da coleta, a acidez deste ponto pode estar relacionada a maior concentração da matéria orgânica. E o pH da 5ª coleta do ponto E1 foi de 6,11 que pode ser devido a turbidez a qual apresentou um elevado valor de 24,1 UNT neste ponto, onde valores elevados de turbidez impedem a realização da fotossíntese, permitindo que o O₂ utilizado na reação da fotossíntese esteja disponível podendo reagir com a matéria orgânica, liberando substâncias ácidas no meio. A 2ª, 3ª e 4ª coleta da estação 3 foram realizadas em tempo nublado, e seu pH estava por volta de 7, quando no tempo ensolarado o seu pH ficou abaixo do valor permitido pela legislação. Os pontos E2, E5 e E6 apresentaram valores normais de pH. A 1ª coleta do ponto E3 apresentou pH de 5,75 que também pode ser devido grande salinidade de 27,92 % que diminui a quantidade de oxigênio dissolvido, e o OD dessa amostra foi de 5,3 mg/L, o qual exibiu um grau de saturação de 64,52 %. O pH da 2ª coleta do ponto E4, foi de 5,69 da 4ª coleta de 5,83, que pode ser devido à salinidade, de 29,72‰ e 27,9‰ respectivamente.

Para o ano de 2017 (Figura 6B) todos os valores de pH se encontraram dentro da faixa referente as classes 1 e 2 de águas salobras, conforme Resolução nº357/2005 do CONAMA, exceto para o ponto E1 na 5ª coleta e os pontos E1 e E2 na 6ª coleta. As 5ª e 6ª coletas foram em períodos de chuva, cuja vazão do rio Santa Maria da Vitória estava superior aos demais períodos. Sendo assim, infere-se que a variação de pH nos pontos citados pode ser justificada por fenômenos ocorridos devido a esse aumento de vazão, como o aumento da atividade de decomposição, pertinente ao carreamento de matéria orgânica antes acumulada no fundo e nas margens do rio, aumentando, por exemplo, os teores de ácidos húmicos.⁸

O aumento da salinidade diminui a concentração de oxigênio dissolvido, com

pouco OD as águas com quantidade de matéria orgânica podem deixar o pH um pouco ácido.¹ O pH para essa região segundo JESUS *et al.*¹⁸ não variou, ficando em uma faixa de 6,8 a 7,4, e o pH deste trabalho foi de 5,7 a 7,8 em 2016 e 5,53 a 7,48 em 2017, em que a região da foz apresentou águas levemente mais ácidas.

3.6. Elementos traços

A Tabela 3 apresenta os resultados dos elementos traços determinados nas amostras de 2016.

O ponto E1 está classificado como classe 2 de águas doces de acordo com IEMA, e os outros pontos como Classe 2 de águas salobras. Foram usados para correlacionar os resultados, os limites máximos descritos na resolução do CONAMA nº 357/05.

Os resultados encontrados de chumbo e cromo para o ponto E1 se encontraram dentro do limite da resolução do CONAMA nº 357/05, porém as concentrações de cádmio se encontraram acima do ideal, com valores de 5,340 µg.L⁻¹ e 3,280 µg.L⁻¹ onde o limite é de 1,0 µg.L⁻¹. Observa-se que para o cádmio os resultados foram similares aos pontos da baía. O cádmio se manifesta nas águas naturais devido às descargas de efluentes industriais, principalmente as galvanoplastias, esse resultado pode ser devido à localidade, que é próxima de indústrias, logo, deve ser feito levantamento dos tipos de efluentes que são lançados nesse ponto.²¹

Para os pontos E2, E3, E4 e E5 os limites para comparação são de água salobra de classe 2, o chumbo apresenta um limite de 210 µg.L⁻¹, o cádmio de 40,0 µg.L⁻¹, e o cromo de 1100,0 µg.L⁻¹, todas as amostras para essas estações se encontraram dentro do limite estabelecido pelo CONAMA, tendo valores bem abaixo do especificado pela resolução.

Tabela 3. Resultados dos elementos traços das amostras de 2016.

Coletas	Pb ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	RSD(%)	Cd ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	RSD (%)	Cr ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	RSD (%)
1ªC. E1	0,678	9,7	5,340	9,8	< LD	-
2ªC. E1	< LD	-	3,280	3,7	15,560	6,4
CONAMA	10,0		1,0		50	
águas doces - II						
1ªC. E2	0,320	1,0	3,396	4,6	51,063	9,2
2ªC. E2	< LD	-	3,678	5,3	59,409	11,8
1ªC. E3	2,517	5,2	3,788	9,0	16,344	9,0
2ªC. E3	0,387	2,5	3,984	7,4	4,791	0,2
2ªC. E4	< LD	-	3,133	4,3	6,213	2,9
3ªC. E4	3,179	1,2	4,207	1,2	27,006	8,5
1ªC. E5	1,927	3,3	3,528	6,3	31,678	7,5
2ªC. E5	0,761	4,6	3,898	3,4	6,728	2,0
CONAMA	210,0		40,0		1100,0	
águas salobras - II						
LD ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)*	0,016	-	0,003	-	0,151	-
LQ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)**	0,053	-	0,010	-	0,502	-

*LD= Limite de detecção

**LQ= Limite de quantificação

RSD= Desvio padrão relativo

Os resultados dos elementos traços referentes ao ano 2017 pode ser observado na Figura 7. Os elementos cádmio e chumbo apresentaram concentrações abaixo dos limites de quantificação: $0,013 \mu\text{g L}^{-1}$ e $0,033 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. No que se refere ao cromo, não foram observadas alterações significativas estando todas as amostras com concentrações abaixo de 50 mg L^{-1} (classe 1) exceto o ponto E6 na 6ª coleta, a qual apresenta um teor de $0,052 \text{ mg L}^{-1}$ que está na faixa de classificação de águas salinas de classe 2. As concentrações de Ni e Zn se encontraram todas dentro dos limites estabelecidos pela resolução do CONAMA nº 357/2005, ou seja, inferior a $0,025 \text{ mg L}^{-1}$ para águas salinas de classe 2. O mesmo pode ser

observado para o Zn, cujo limite é $0,09 \text{ mg L}^{-1}$ para a classe 2.

Quanto ao ferro dissolvido observou-se que seus teores permanecem acima do limite especificado, $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, durante todo o período de estiagem, ficando dentro do limite apenas após período de chuva, o qual ocorreu a partir da 5ª coleta. Contudo, só há especificação de limites de ferro dissolvido para a classe 1 de águas salinas. Sendo assim, mesmo com alterações nos teores de Fe, as águas ainda podem ser classificadas como classe 2. O manganês variou entre $0,050 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,270 \text{ mg L}^{-1}$. A limitação do teor de manganês é apenas para águas de classe 1, não havendo limites para as demais classificações.

O arsênio se manteve dentro dos limites para classe 1 de águas salinas, ou seja, abaixo de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$. Porém, todos as estações são locais de pesca, logo este limite é alterado para $0,0014 \text{ mg L}^{-1}$, no qual a maioria dos valores encontrados não estão adequados. Deste modo, estas águas se apresentam

impróprias para a prática de atividades de pesca. Coelho²² também descreveu valores acima do estabelecido pela resolução do CONAMA nº 357/2005 de arsênio em represas da bacia do rio Santa Maria da Vitória, o que indica uma alteração constante.

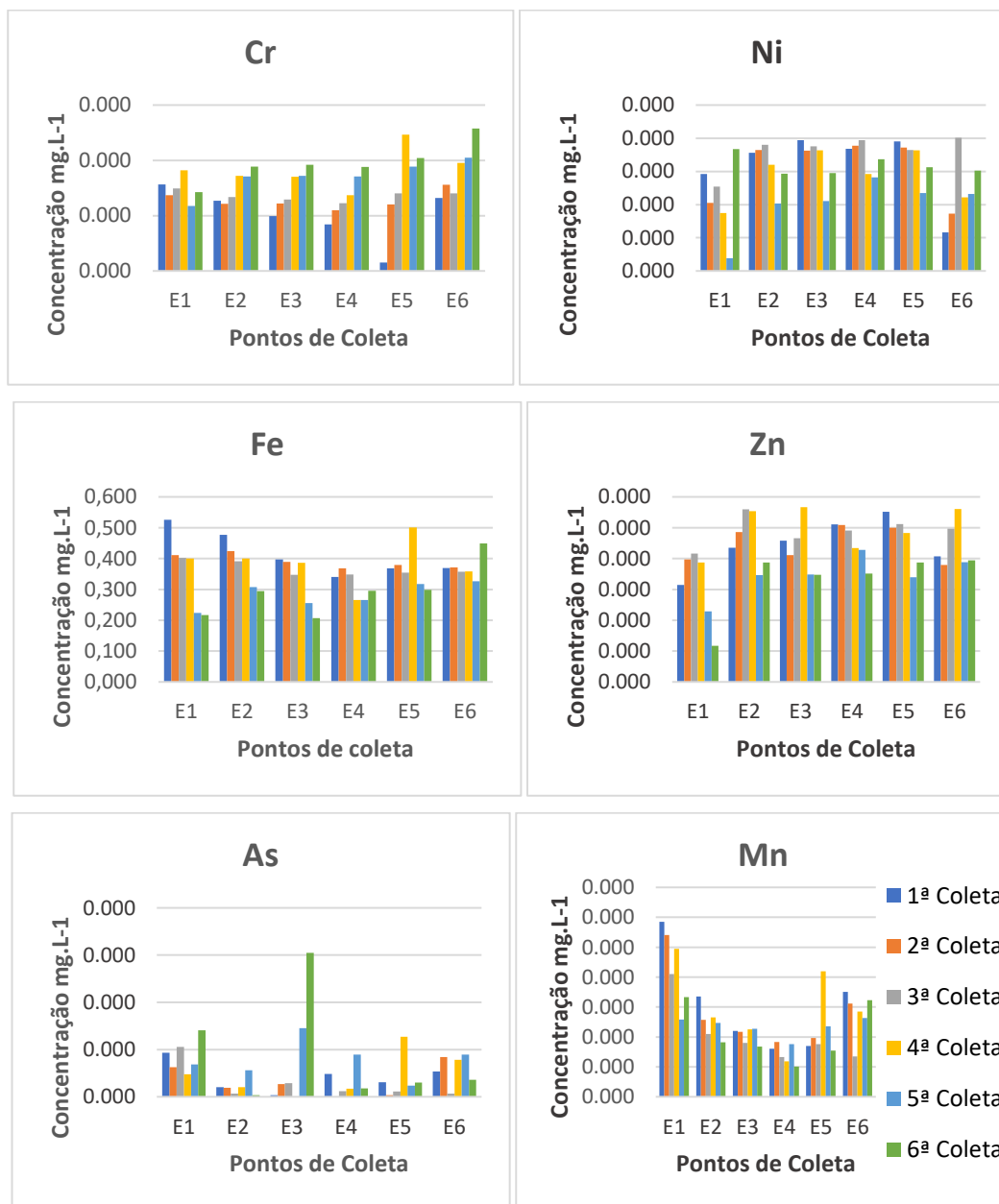


Figura 7. Teores de elementos traços em amostras do rio Santa Maria da Vitória no período de 2017.

3.7. Toxicidade

Com base nos resultados alcançados por Lima e Bull,¹⁰ foram analisadas as amostras de

2016. A Figura 8 mostra uma comparação dos valores de condutividades diluídas a 7 % com a germinação média das sementes de *Allium Cepa* e também compara a condutividade com o crescimento Radicular.

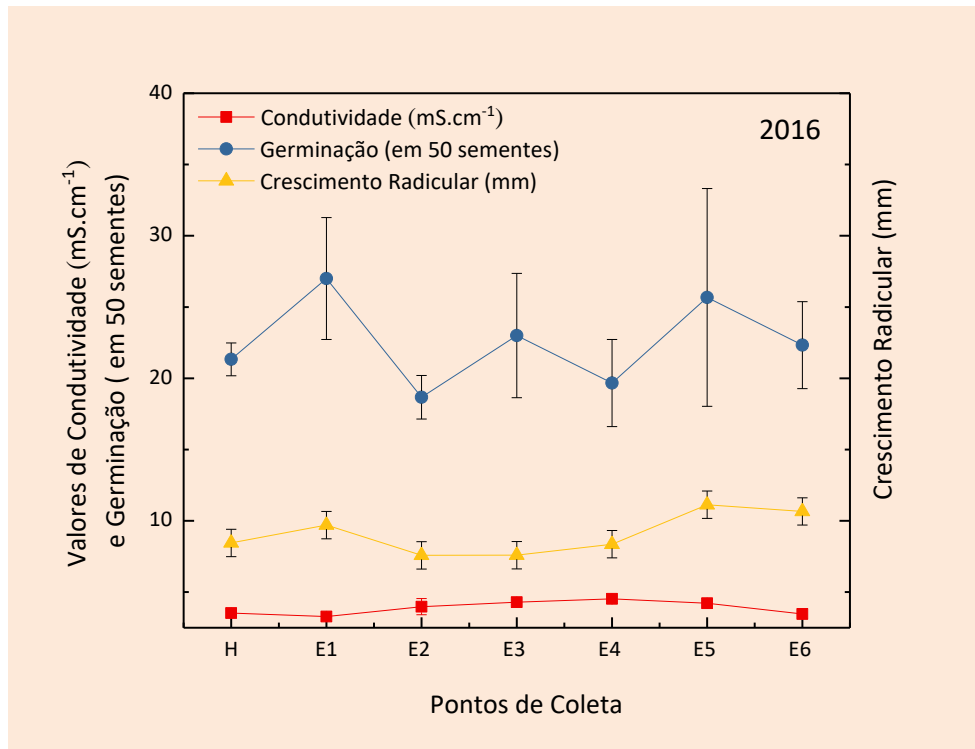


Figura 8. Comparação do crescimento radicular com a condutividade após 120 h de exposição das sementes em água de estudo e comparação do crescimento radicular com a condutividade após 120 h de exposição das sementes em água de estudo, onde H representa o controle negativo.

A amostra do ponto E1 apresentou uma condutividade menor comparado com o controle negativo, logo a germinação aumentou, e a amostra do ponto E4 apresentou uma condutividade maior após a diluição, e resultou em menores números de sementes germinadas. Observa-se que a salinidade interferiu no grau de germinação das sementes e não houve toxicidade quando comparado com o controle negativo. É possível observar também na Figura 7 uma pequena relação inversamente proporcional entre a condutividade e o crescimento radicular ao comparar com o controle negativo. Os resultados apontam que

nenhuma amostra avaliada apresentou toxicidade significativa, levando em consideração as condutividades.

Na Figura 9A as germinações não apresentaram diferenças significativas entre os percentuais na 2^a, 4^a e 5^a coleta, na 3^a e 6^a coleta, apesar de existirem diferenças, todos os tratamentos não se diferem significativamente da água ultrapura (controle negativo).

Quanto ao crescimento radicular (Figura 9B), na 2^a coleta utilizou-se como controle negativo a água mineral, e observou-se uma diferença significativa entre a água salina, E1, E3, E4 e E6 e a água mineral, indicando que a

salinidade das amostras pode ter interferido no desenvolvimento das sementes. O mesmo ocorre na 4ª coleta, tendo como controle negativo a água ultrapura. Na 3ª coleta, a água salina não se diferenciou significativa do controle negativo (água ultrapura), contudo as amostras E2 e E6 se diferenciaram

significativamente das demais. Nas 5ª e 6ª coletas não houve diferenças significativas dos tratamentos em relação ao controle negativo. Diante do exposto, é possível verificar a interferência da salinidade na fitotoxicidade das amostras.

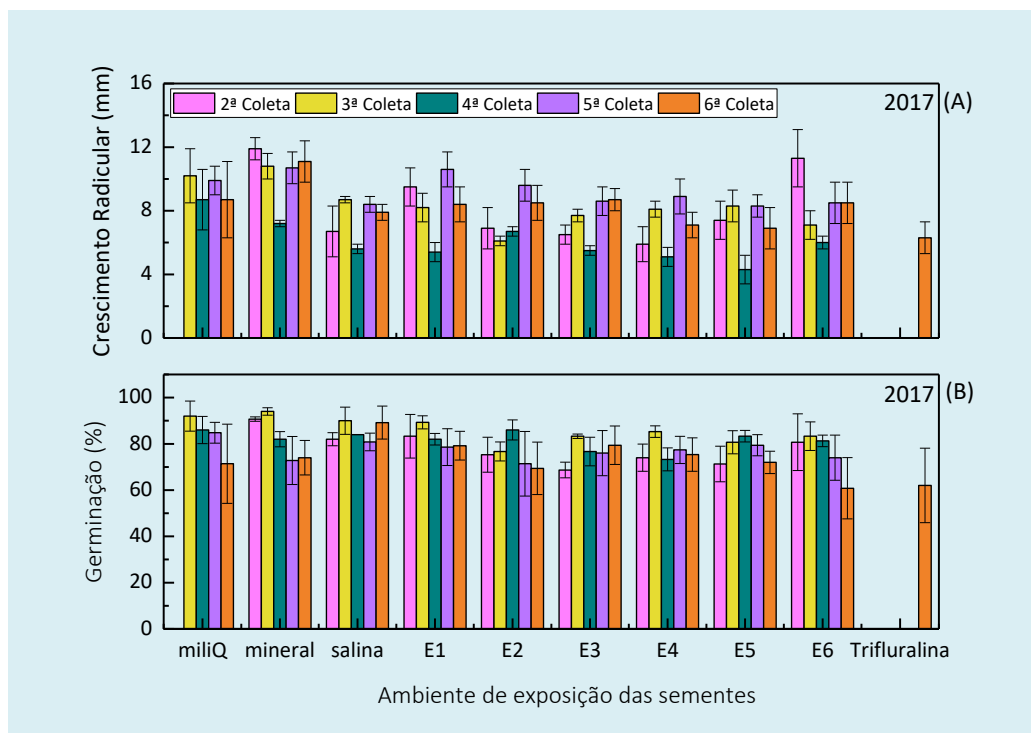
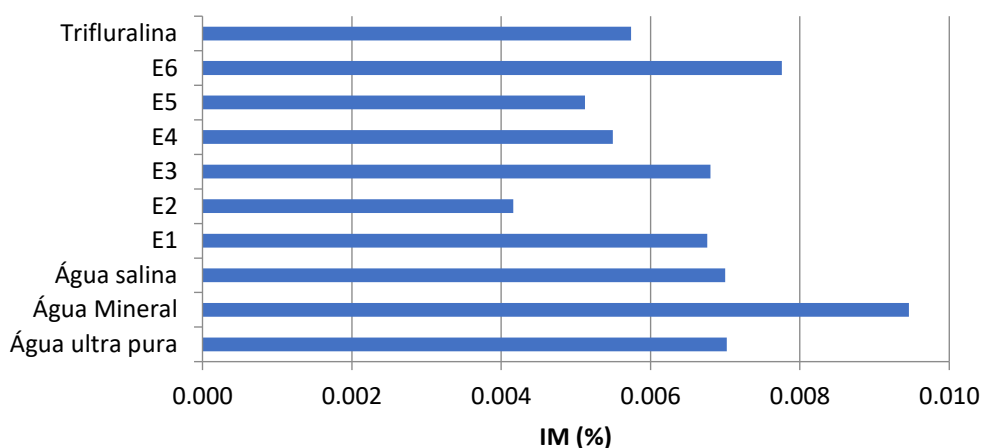


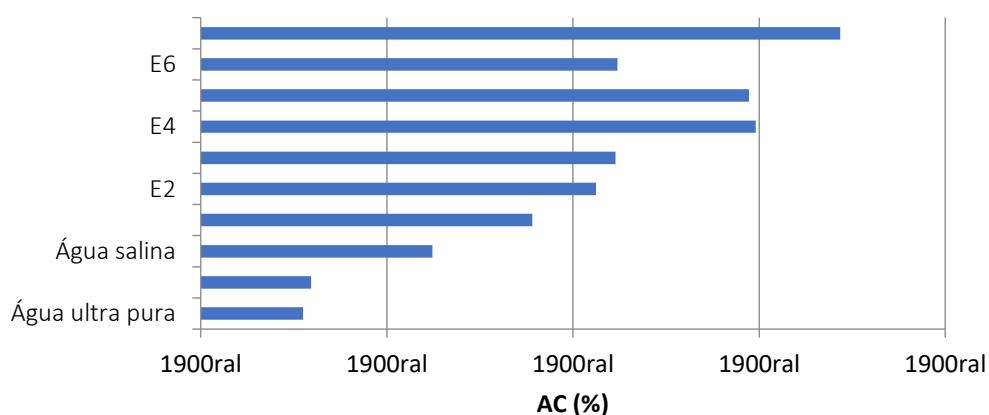
Figura 9. Comparação dos valores de condutividade e germinação média das sementes diluídas a 7 % em placas de petri com total de 50 sementes (A). Comparação dos valores de condutividade e porcentagem de germinação média das sementes diluídas a 4,0 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ em placas de petri com total de 50 sementes (B)

No que se refere ao índice mitótico (Figura 10A) não foi possível observar diferenças significativas entre o controle positivo e os demais tratamentos. Contudo, é possível observar uma queda do índice mitótico na proximidade do mar, exceto para os pontos E3 e E6. Esse comportamento se realça na análise

das aberrações cromossômicas (Figura 10B), cuja frequência aumenta à medida que se aproxima do mar. A alteração da frequência das aberrações cromossômicas indica uma modificação no corpo d'água, à medida que segue seu curso, sendo esse um forte indicativo de contaminação do corpo d'água.²³



(A)



(B)

Figura 10. Representação gráfica do índice mitótico (IM) de células meristemáticas de *Allium cepa* após exposição às amostras de água do rio Santa Maria da Vitória e controles negativo e positivo (A). Representação gráfica da frequência de aberrações cromossômicas (AC) de células meristemáticas de *Allium cepa* após exposição às amostras de água do rio Santa Maria da Vitória e controles negativo e positivo (B).

4. Considerações Finais

As análises físico-químicas das amostras da água do rio Santa Maria da Vitória e da baía de Vitória das 6 estações investigadas mostraram que no ano de 2016 o pH variou de 5,7 a 7,8; O valor de turbidez observado foi inferior a 14 UNT para todos os pontos de coletas e período. A salinidade confirma que as águas coletadas nas seis estações apresentam características de águas salobras de classe 1, os valores de oxigênio dissolvido mostraram que a água da região do rio e da baía

analisados estão com quantidades adequadas para a vida aquática. Os valores de pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais, condutividade, turbidez, de cada ponto de coleta, e dos dias de coleta, são naturalmente diferentes, devido à mudança da salinidade em função do regime das marés.

Não muito diferente para o período de 2017 o pH se manteve entre 5,53 a 7,48, a turbidez se mostrou próxima de 10 UNT, exceto para as estações 3 e 4 na 6ª coleta, cuja a discrepância pode estar associada a despejo recente de efluentes domésticos, e para a

estação 6 em todas as coletas, devido à influência das marés no ponto de coleta.

A presença dos metais chumbo, cádmio, e cromo analisado nas amostras, se encontraram dentro do limite de tolerância estimado pelo CONAMA no período de 2016. Já em 2017 os metais, Cd e Pb se encontram abaixo dos limites de quantificação da técnica. Os demais elementos traços (Cr, Ni, Fe, Zn e Mn) apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pela resolução do CONAMA nº 357/2005. O arsênio em muitos pontos esteve acima do limite de 0,0014 mg L⁻¹ para locais de pesca, sendo então essas águas impróprias para essas atividades.

A análise de toxicidade pelo crescimento radicular da *Allium Cepa* nas amostras de 2016 utilizando uma metodologia adaptada para água salobra foi satisfatória. Os resultados apontaram que nenhuma amostra apresentou toxicidade significativa, levando em consideração as condutividades e nas amostras analisadas em 2017 nos testes de citotoxicidade não foram observadas alterações significativas na germinação das sementes. Contudo, percebeu-se a influência da salinidade na fitotoxicidade atribuída às amostras em estudo. Quanto ao índice mitótico, não se observou diferenças significativas entre o controle positivo e os demais tratamentos. Entretanto, o estudo apresentou uma queda do índice mitótico na proximidade do mar, exceto para os pontos E3 e E6. Esse comportamento se realça na análise das aberrações cromossômicas, cuja frequência aumenta à medida que se aproxima do mar, sendo esse um forte indicativo de poluição do corpo d'água.

Agradecimentos

Aos alunos do Ensino Médio da escola "EEEFM Romulo Castello" Serra/ES, Brício dos S. Raposo, Isaac L. da Silva, Kellen S. de Carvalho, Stefhanie Sarcinelli, Luanna S. de Jesus, Maiane Marques, Vitória Fleger de Brito, Luana Santana Almeida, Isaías A. Pereira, Alexander B. de Matos, Guilherme

M. Falcão pela contribuição nas coletas e análises biológicas. Às professoras Camila Reis dos Santos e Francielen Barroso Aragão pela contribuição nos estudos biológicos.

Nós também agradecemos a FAPES pelo auxílio financeiro projeto nº 0841/2015 e a CAPES, UFES e CNPq pelo apoio a pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ¹ Rogério, A.; Benedetti, E. A importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. *Química Nova na Escola* **2005**, *22*, 10. [Link]
- ² Junior, B. S. G. Caracterização do processo de poluição das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Jucu, estado do Espírito Santo, Brasil. *Revista Agro@Mambiente on-Line* **2015**, *9*, 235. [CrossRef]
- ³ Oliveira, R. M. L. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal do Espírito Santo, 2011. [Link]
- ⁴ Possebom, A. Rio que abastece Vitória sofre com esgoto, agrotóxicos e desmatamento. Disponível em: <<http://revistacafeicultura.com.br/?mat=9367>> Acesso em: 12 dezembro 2016.
- ⁵ BAÍA de Vitória. Disponível em <<http://www.terracapixaba.com/2011/08/ba-ia-de-vitoria-vitoria.html>> Acesso em: 13 dezembro 2016.
- ⁶ Pinto, R.; Havens, K. *Estuários e Águas costeiras e estuários*; Em: Pinto, R.; Havens, K.; Crise nas águas, 2015, cap. 7. [Link]
- ⁷ Agência Estadual de Recursos Hídricos, Plano de Bacia Hidrográfica. Disponível em: < > Acesso em: 30 julho 2018.
- ⁸ ANA, Agência Nacional De Águas. Disponível em: <hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 19 março 2017.
- ⁹ Matos, A. T. *Qualidade do meio físico ambiental: práticas de laboratório*, 1a. ed. Viçosa: Minas Gerais, 2012.
- ¹⁰ Lima, M. D. B.; BULL, L. T. Produção de cebola em solo salinizado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2008**, *12*, 231. [CrossRef]
- ¹¹ Oliveira, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. *Revista Eletrônica*

Nutritime **2008**, 6, 777. [Link]

¹² Conselho Nacional Do Meio Ambiente, Resolução nº357 de 17 de março de 2005 DOU nº 053. Disponível em: <>. Acesso em: 12 dezembro 2016.

¹³ ANA; CETESB. *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras - Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos*, 2a. ed., Brasília: Distrito Federal, 2011.

¹⁴ Tabua de Mares. Disponível em: <>. Acesso em: 11 dezembro 2016.

¹⁵ Loss, S.; *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal do Espírito Santo, 2012. [Link]

¹⁶ Centro de previsão do tempo e estudos climáticos. Disponível em <>. Acesso em: 15 dezembro 2016.

¹⁷ Brandini, F. A salinização costeira. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/colunas/frederico-brandini/19110-oeco-d2-28680/>>. Acesso em: 12 dezembro 2016.

¹⁸ Jesus, H.C; Costa, E. A.; Mendonça A. S. F.; Zandonade, E. Distribuição de metais pesados

em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória-ES. *Química Nova* **2004**, 27, 378. [CrossRef]

¹⁹ Eschrique, S. A. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal do Ceará, 2007.

²⁰ Von Sperling, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, 2a. ed. Belo Horizonte: Minas Gerais, 1996.

²¹ Piveli, R. P. *Qualidade das águas e poluição Aspectos Físico-Químicos*. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo%208%20-%20Ferro%20e%20Manganes%20e%20Metais%20Pesados.pdf>>. Acesso em: 13 dezembro 2016.

²² Coelho, E. J. R. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Espírito Santo, 2017. [Link]

²³ Liu, Donghua; Jiang, Wusheng; Li, Maoxie. Effects of trivalent and hexavalent chromium on root growth and cell division of *Allium cepa*. *Hereditas* **1992**, 117, 23.