

SUMÁRIO

7 - Considerações finais.....	1/25
7.1 - Garantia e controle da qualidade (QA/QC).....	1/25
7.2 - Rios doces e tributários.....	2/25
7.2.1 - Água superficial.....	2/25
7.2.2 - MPS e descarga sólida.....	5/25
7.2.3 - Sedimentos.....	6/25
7.2.4 - Testemunho.....	8/25
7.2.5 - Comunidades aquáticas.....	9/25
7.2.6 - Ensaios ecotoxicológicos.....	13/25
7.2.7 - Estações automáticas.....	14/25
7.3 - Lagoas.....	15/25
7.3.1 - Águas.....	15/25
7.3.2 - Sedimentos.....	17/25
7.3.3 - Testemunho.....	18/25
7.3.4 - Comunidades aquáticas.....	18/25
7.3.5 - Ensaios ecotoxicológicos.....	19/25
7.4 - Zona costeira e estuários.....	20/25
7.4.1 - Águas superficiais.....	20/25
7.4.2 - Sedimentos.....	21/25
7.4.3 - Comunidades aquáticas.....	22/25

7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 - Garantia e controle da qualidade (QA/QC)

Os resultados laboratoriais e dados de campo, incluindo as campanhas amostrais e medições automáticas, atenderam satisfatoriamente ao Programa de Garantia e Controle de Qualidade para o período de agosto/2017 a janeiro/2018 indicado no Anexo A do PMQQS. Algumas inconsistências ou inconformidades ocorreram, o que era esperado, face a enorme malha amostral, a quantidade de parâmetros monitorados e ao curto tempo de monitoramento até aqui executado. Quando possível, houve a correção imediata. No entanto, aconteceram falhas em procedimentos de coleta e análise e medições automáticas. Para estes casos, a Fundação Renova notificou os laboratórios e, na medida do possível, modificou os métodos de análise, visando à melhoria dos resultados obtidos. Além disso, vem buscando melhoria na infraestrutura das estações automáticas, avaliação de acesso e equipamento para coleta de testemunho de sedimento onde não foi possível, bem como embarcação mais robusta para coleta na zona costeira. As intensas chuvas ocorridas neste período chuvoso de 2017/2018 também causaram avarias e perdas de equipamentos em algumas estações automáticas que comprometeram as medições e a transmissão dos dados. Para isso, a Fundação Renova também atuou e continua na busca de soluções técnicas para minimização destas falhas.

Recomenda-se que todo esforço amostral e analítico não seja invalidado por resultados inconsistentes e inconformidades identificadas neste período e sugere-se algumas alterações para as futuras campanhas de amostragem e avaliação dos dados. Uma das sugestões diz respeito as medidas de perfil nas lagoas, para que sejam feitas de forma automatizada. Sugere-se ainda que seja feita uma reavaliação dos qualificadores contidos no Anexo A do PMQQS, para que medidas consistentes não sejam desconsideradas. Um exemplo é a razão entre dureza e alcalinidade, que somente são avaliadas para o QA/QC e que não tem grande relevância para o objetivo proposto por este estudo, a ponto dos dados ficarem inconsistentes para uso. Além disso, são dados que diferem

bastante entre água doce e salobra/salina e que devem ser consideradas as diferenças entre esses sistemas.

Da mesma forma, a razão entre condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, outro qualificador indicado no Anexo A do PMQQS. Sugere-se que esta razão seja reavaliada, visto ser uma medida importante, mas cujos valores sofrem alterações conforme a temperatura da água, e que, portanto, devem ser usados da mesma fonte (*in situ* ou em laboratório). Em virtude disso, uma avaliação mais detalhada da relação entre esses dois parâmetros somente se faz relevante se for utilizado os dados históricos do local, ou se for utilizada uma faixa percentual.

7.2 - Rios doces e tributários

7.2.1 - Água superficial

Os resultados obtidos a partir dos parâmetros de águas superficiais de 41 pontos na bacia do rio Doce registraram valores de turbidez e concentrações de alumínio dissolvido, ferro dissolvido e, principalmente, manganês total que violaram os limites preconizados pela Resolução CONAMA 357/2005 em alguns pontos, sobretudo no período de chuva, o que também foi observado nos dados históricos do Igam e da Agerh para ferro dissolvido e manganês total. No trecho 01 entre a Mina Samarco até a UHE Risoleta Neves, os pontos que foram atingidos por rejeitos comparados aos pontos que não foram atingidos apresentaram, de forma geral, maiores valores desses parâmetros no período de chuva, o que pode estar associado ao carreamento e ressuspensão dos rejeitos da barragem de Fundão que se depositaram nas margens e calha do rio. Nos demais trechos, as concentrações desses parâmetros nos pontos atingidos pelos rejeitos foram similares às concentrações dos pontos que não foram atingidos pelos rejeitos. Na bacia do rio Doce predomina minérios com diferentes resistências ao intemperismo, como quartizitos, quartizitos ferruginosos, xistos sericítos, itabiritos e canga e apresentam concentrações elevadas de alumínio, ferro e manganês. Estes metais podem estar presentes em grandes quantidades naturalmente nos solos,

sedimentos e sistemas aquáticos, contudo atividades antrópicas, principalmente de natureza extrativo mineral, podem aumentar ainda mais a sua concentração. No período de seca, a capacidade de suporte dos pontos amostrais foram suficientes para diluir as cargas desses metais a concentrações inferiores ao limite legal referido, exceto as cargas do manganês total. Enquanto que no período de chuva as cargas provenientes do carreamento de material terrestre do entorno da bacia e suspensas da calha superaram a capacidade do rio diluí-las a concentrações que não violem o limite legal, mesmo o rio estando com vazões mais elevadas comparadas ao período seco.

A jusante das barragens de Santarém e Fundão, os pontos mais próximos da Mina da Samarco localizados no vertedouro dos diques S3 (RDV 03) e S4 (RVD 04) em Mariana/MG, construídos após o rompimento da barragem de Fundão, apresentaram turbidez sempre abaixo do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 e concentrações de sólidos suspensos total abaixo do limite de quantificação, até mesmo no período chuvoso. Estes resultados podem indicar que estas estruturas estão funcionando adequadamente e evitando o carreamento de sólidos para o rio Gualaxo do Norte. Estes dois pontos também apresentaram menores concentrações de alumínio total, ferro total e manganês total, comparados aos pontos mais a jusante no rio Gualaxo do Norte e rio do Carmo. Os pontos RGN01 e RCA01 (apenas manganês), os quais não receberam os rejeitos de Fundão, também foram observadas altas concentrações destes metais, indicando que existem outras fontes destes elementos na bacia para estes rios. Isso é sugestivo de que as fontes desses metais para o rio Gualaxo do Norte e rio do Carmo sejam não apenas os rejeitos da barragem depositados nas margens e calha desses rios, mas também o aporte do escoamento superficial de áreas não atingidas pelos rejeitos que são carregadas ou ressuspensas nos períodos de chuva.

Os resultados sobre a qualidade da água do rio Doce quanto ao aspecto de contaminação por esgotos domésticos foram, de certa forma, semelhantes aos observados na série histórica do Igam e da Agerh. *E. coli* deu indícios de elevada contaminação apresentando valores que extrapolaram o limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 em todos os pontos e em diversas campanhas. No presente monitoramento, os parâmetros oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e fósforo total em poucos pontos e, principalmente, em dezembro/2017 violaram os limites dessa Resolução. Tal padrão também foi observado na série histórica avaliada, à exceção do fósforo total. Este nutriente, principalmente no período de chuvas, apresentou concentrações superiores ao limite de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ estabelecido na referida Resolução. Em relação aos compostos nitrogenados, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, no presente monitoramento, sequer apresentaram concentrações que violassem os limites estabelecidos por essa Resolução e, grande parte dos dados, foi relatada como não quantificados. Em contrapartida, apenas o nitrogênio amoniacal apresenta um padrão comum com a série histórica avaliada, uma vez que as formas nitrato e nitrito, apesar de não violarem os limites da Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2, tiveram, quase sempre, valores quantificáveis.

De acordo com o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PIRH-Doce, 2010), a bacia apresenta elevadas concentrações de fósforo, com condições sanitárias impróprias do ponto de vista bacteriológico e, conteúdo de matéria orgânica biodegradável pouco expressiva, com prevalência de excelentes níveis de oxigenação. Tal afirmação corrobora os dados aqui observados e, em conjunto com todos os dados avaliados, indicam que o rio Doce apresenta uma boa capacidade de autodepuração dos efluentes domésticos lançados.

7.2.2 - MPS e descarga sólida

Observou-se uma redução nas concentrações do MPS dos elementos relacionados com o rejeito da barragem de Fundão (alumínio, ferro e manganês), quando comparadas com a amostragem feita um mês após o evento (CPRM, 2016). Sendo que, para ferro e manganês os maiores valores registrados foram no ponto mais próximo da barragem de Fundão (RGN 08 – Barra Longa/MG). As dificuldades metodológicas que não permitiram a obtenção de todos os resultados previstos limitaram uma análise mais completa das condições do MPS, tanto por não ter gerado as informações dos parâmetros previstos, como por não ter fornecido dados de uma campanha amostral para alguns pontos.

As estimativas de descargas sólidas de fundo mostraram diferenças quanto ao método utilizado. Outros estudos têm indicado elevada discrepância dessas medidas dependente dos métodos de cálculo e amostragem do material de fundo e sugerido cautela quanto à sua aplicação, pois o método mais acurado pode variar de seção para seção. Portanto, os desafios de se montar uma estação hidrossedimentométrica são conhecidos e mais medições e avaliação dos modelos são necessários, sobretudo para se quantificar o transporte de material do leito, que parece ter uma contribuição relevante para a descarga sólida total. A linha de tendência da relação entre descarga sólida em suspensão e vazão estimada no PMQQS (outubro/2017 e janeiro/2018) ficou entre a tendência mais baixa gerada a partir de dados coletados anteriormente ao rompimento da barragem e a tendência mais elevada gerada a partir de dados coletados dias após o rompimento, indicando assim uma redução da carga de sedimentos transportada decorridos aproximadamente dois anos do rompimento da barragem. Contudo, dada as dificuldades inerentes de se medir de forma acurada as descargas sólidas, para uma conclusão robusta sobre o transporte de sedimentos do rio Doce, serão necessárias mais medições hidrossedimentométricas e compilação de mais dados publicados sobre vazão e descarga sólida para gerar uma curva-chave de sedimentos para as seções transversais monitoradas.

7.2.3 - Sedimentos

Na área de estudo da bacia do rio Doce mais próxima da barragem de Fundão, os pontos que não foram atingidos por rejeitos (rio Gualaxo do Norte, RGN 01 – Mariana/MG e rio do Carmo, RCA 01 – Acaiaca/MG) registraram as maiores concentrações verificadas para todos os metais (mais arsênio) no trecho 01. Entre os elementos que estão relacionados com os rejeitos (alumínio, ferro e manganês), alumínio e ferro apresentaram concentrações acima do marco superior da base de dados da CPRM (2016). Para os demais metais analisados (arsênio, cobre, cromo e níquel), todos violaram o limite da Resolução CONAMA 454/2012 para água doce nível 1. Conforme apontado por Costa (2007), as bacias do rio do Carmo e do Gualaxo do Norte contam com intensas atividades de mineração, que podem explicar estes resultados, o que limita a avaliação da influência do evento sobre os parâmetros avaliados. Isto porque, era de se esperar que a malha amostral dispusesse de áreas que fornecessem valores basais (sem influência de atividade antrópica) para a região. Dessa forma, esses dados serviriam como referência de comparação para os resultados verificados nos pontos atingidos pelos rejeitos.

No trecho de estudo 02, os pontos RDO 05 (Belo Oriente/MG) e RDO 06 (Periquito/MG) no rio Doce, além dos RPC 02 (Mariana/MG) e RPC 03 (Timóteo/MG) no tributário Piracicaba, registraram as maiores concentrações, extrapolando o marco superior do banco de dados da CPRM (2016) (para alumínio, ferro e manganês) e o limite da Resolução CONAMA 454/2012 para água doce nível 1 (para arsênio, cromo e níquel). A existência de uma fábrica de celulose de grande porte logo a montante do ponto RDO 05, e a contribuição do rio Piracicaba que apresentou altas concentrações de metais relacionadas ao núcleo industrial instalado indústria próxima à confluência com o rio Doce, podem explicar os expressivos valores encontrados para esta localidade. Com relação aos valores observados no ponto RDO 06, os altos percentuais da fração de silte e argila, que estão relacionados com a sua posição a montante do reservatório da UHE Baguari, favorecem a adsorção de metais neste ponto. Já os resultados expressivos verificados nos pontos RPC 02 e RPC 03 no tributário Piracicaba, estes podem estar relacionados com sua proximidade a uma área de

mina, e um núcleo industrial, respectivamente. Em relação às concentrações observadas no trecho 01, em geral observaram-se maiores valores de metais neste trecho para alumínio e manganês, enquanto que para os demais elementos os resultados foram similares.

As maiores concentrações dos elementos avaliados no trecho 03 foram registradas no rio Doce nos pontos RDO 08 (Governador Valadares/MG), RDO 09 (Tumiritinga/MG) e RDO 10 (Esplendor/MG). Os maiores valores encontrados para alumínio (RDO 08 e RDO 09) superaram o marco superior do banco de dados da CPRM (2016). Já os resultados de arsênio (RDO 10), cromo (RDO 09) e níquel (RDO 09) extrapolaram o limite da Resolução CONAMA 454/2012 para água doce nível 1. Como o município de Governador Valadares apresenta uma população de aproximadamente 300.000 habitantes, é possível que os resultados observados nos pontos RDO 08 e RDO 09 estejam refletindo a influência dos resíduos urbanos que esta cidade lança no rio Doce. Em relação aos níveis de metais observados nos trechos anteriores, o trecho 03 apresentou menores níveis para ferro e arsênio, enquanto que se observou maiores valores para cobre e cromo. Para alumínio, manganês e níquel, observaram-se valores similares entre os trechos.

No último trecho de estudo, o ponto RDO 12 (Colatina/ES) no rio Doce apresentou as maiores concentrações para todos os elementos avaliados. Sendo que, o resultado de alumínio superou o marco superior do banco de dados da CPRM (2016), e os de arsênio e níquel extrapolaram o limite da Resolução CONAMA 454/2012 para água doce nível 1. Neste ponto foi observado também os maiores percentuais das frações de silte e argila, o que poderia explicar esses resultados. Analisando os níveis dos elementos observados neste trecho, é possível inferir que houve uma redução nos valores registrados, quando comparados com os dos trechos anteriores. Este padrão espacial pode ser explicado por uma possível sedimentação das partículas enriquecidas pelos metais (e o arsênio) ao longo da calha do rio Doce, inclusive associada aos quatro barramentos instalados ao longo de seu curso, de forma que a carga desses elementos que atinge o estuário seja menor.

7.2.4 - Testemunho

Na área de estudo mais próxima à barragem de Fundão, no trecho 01, o ponto RGN 01 (Mariana/MG) no rio Gualaxo do Norte apresentou perfil de concentrações dos metais nos testemunhos de sedimento que indica um enriquecimento recente das partículas de sedimento por ferro, manganês, arsênio, chumbo, cobre e mercúrio. O mesmo se observou para o ponto RCA 01 (Acaiaca/MG) no rio do Carmo, para ferro. Estes pontos não foram atingidos pelo rejeito, o que sugere a presença de fontes pontuais desses elementos nas proximidades destes pontos, como atividades de mineração nas bacias do rio do Carmo e do Gualaxo do Norte, conforme apontado por Costa (2007).

No trecho seguinte, o ponto RMA 01 (Raul Soares/MG) no rio Matipó, registrou maiores concentrações de alumínio, chumbo, cobre e níquel, nas camadas mais superficiais do testemunho de sedimento, que as observadas nos segmentos mais profundos. Este ponto está às margens do município Raul Soares/MG, onde há uma indústria de ferramentas instalada de porte considerável, o que pode representar uma fonte de metais para o rio Matipó, além de explicar a sedimentação recente de partículas enriquecidas por esses metais. O mesmo ocorreu no ponto RPC 02 (Mariana/MG) no rio Piracicaba, para os valores de níquel. Porém neste caso, a presença de uma área de mina localizada a montante do ponto RPC 02 seria uma possível fonte de metais para este ponto.

No terceiro trecho, todos os pontos que apresentaram em seus sedimentos sinais recentes de contaminação por metais, foram os localizados no rio Doce. Estes casos foram observados nos seguintes pontos: RDO 10 (Resplendor/MG) para ferro, manganês e arsênio; RDO 07 (Governador Valadares/MG) para chumbo; e RDO 10 e RDO 07 para cromo. O registro de sedimentação recente de partículas enriquecidas por metais no ponto RDO 10 pode estar relacionada à atividade de mineração. Isto porque, na década de 1950 foi achada na região a maior água-marinha (variedade de pedra preciosa) do mundo, desenvolvendo muito a exploração de minérios na região. Já em RDO

07, como não se observa fontes de metais em seu entorno, esse indício de contaminação recente pode estar relacionado a alterações na dinâmica de transporte e sedimentação das partículas carregadas pelo rio Doce, já que este ponto está logo a jusante da barragem da UHE Baguari.

No último trecho de estudo, somente um ponto apresentou perfis de concentrações dos metais (e arsênio) que sugerissem a contaminação recente por estes elementos. Este padrão foi observado no ponto RDO 16 (Linhares/ES), para alumínio, ferro, arsênio, chumbo, cobre, cromo e níquel. Este ponto é o que está localizado mais próximo à foz do rio Doce, onde se observa um ambiente mais lântico e com a fração granulométrica de silte e argila predominante. Estas condições favorecem a sedimentação de partículas finas e enriquecidas por metais. Analisando esse perfil de contaminação no testemunho de sedimento do ponto RDO 16, pode-se inferir que houve um evento recente de contaminação por metais (e arsênio) nas águas que chegam até a foz do rio Doce. Porém, os valores registrados neste ponto não ultrapassaram os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/2012 para água salina/salobra nível 1, e nem os valores dos marcos superiores do banco de dados da CPRM (2016), para os respectivos elementos.

7.2.5 - Comunidades aquáticas

7.2.5.1 - Fitoplâncton

Apesar da esperada diferenciação entre os trechos amostrados no rio Doce e tributários diretamente afetados por rejeitos advindos do rompimento da barragem de Fundão (especialmente no trecho 1), os seis meses de monitoramento ainda não foram suficientes para detectar importantes variações entre os trechos. A variabilidade espacial (entre os trechos) apresentou baixa explicabilidade sobre a comunidade fitoplanctônica, como demonstrada pelas correlações, NMDS, PERMANOVA e SIMPER, sendo a variabilidade temporal mais fortemente relacionada à dinâmica desta comunidade até o momento. Ainda, os seis meses de monitoramento permitiram evidenciar baixos valores de densidade, diversidade, dominância e pouca variação destes ao longo das estações de amostragem na bacia do rio Doce.

Os grupos taxonômicos que mais contribuíram para as densidades totais ao longo das estações monitoradas nesses seis meses foram as diatomáceas e clorofíceas, sendo estes dois grupos comuns em sistemas lóticos. Diatomáceas são organismos tolerantes a ambientes com elevada energia (caracterizada pela vazão dos rios), além de serem boas competidoras por fósforo, o que podem garantir uma vantagem adaptativa sobre outros grupos taxonômicos diante da restrição de nutrientes e elevada turbulência. A maioria das espécies de clorofíceas registradas nas estações monitoradas foram de pequeno tamanho, que garantem boa estratégia adaptativa devido ao rápido crescimento, rápida absorção de nutrientes e otimização da luz, sendo comum em sistemas eutrofizados e rios. Criptofíceas foi um importante grupo para diferenciação do trecho 4, sendo este um grupo considerado oportunista, com ampla ocupação de nicho, ou seja, podendo ser encontrado em variadas condições, incluindo baixa incidência de luz (elevada turbidez). Por fim, cianobactérias configuram um importante grupo taxonômico com relevância na qualidade da água e saúde humana, devido ao potencial tóxico de determinadas espécies. Ao longo das estações de monitoramento não foi possível observar um claro padrão entre os trechos, mas sim sazonal, com maior concentração de células de cianobactérias no início do período de chuvas, devido ao maior carreamento de nutrientes (nitrogênio e fósforo) para a calha central de rios e tributários.

7.2.5.2 - Perifíton

A comunidade perifítica foi subdividida em duas grandes comunidades, ficoperifíton e zooperifíton, amostradas em folhas, plantas ou pedras, sendo apresentada, no momento, apenas a campanha do período chuvoso em novembro/2017. Além disso, por ter sido amostrado apenas três pontos, não é possível apresentar uma discussão por trechos ou análises temporais até o momento. Ainda assim, é possível observar que a comunidade ficoperifítica é composta principalmente por diatomáceas, independente de substrato, sendo estas pertencentes a grupos que indicam tolerância a poluição e a ambientes fortemente poluídos. Já zooperifíton apresentou composição variada, respondendo à variação de substrato. O substrato sobre folhas foi o que apresentou a maior densidade de animais, composto principalmente por rizópode, cilióforo e nemátodos.

7.2.5.3 - Macroinvertebrados Dulcícolas

Através do monitoramento realizado entre os meses de agosto/2017 e janeiro/2018, observou-se que Mollusca foi o grupo taxonômico de maior representatividade numérica entre os organismos bentônicos amostrados. Entre os moluscos, a elevada dominância do bivalve *Corbicula fluminea* está associada com a sua tolerância a ambientes impactados, adaptação a diferentes substratos, capacidade reprodutiva, rápido crescimento e habilidade em filtrar grandes volumes de água. A presença de *C. fluminea* em trechos do rio Doce, tributários e lagoas já foi reportada em outros estudos em período anterior ao rompimento da barragem. No contexto da bacia do rio Doce, condições pretéritas de degradação, associadas ao recente impacto da ruptura da barragem de Fundão, fornecem o ambiente ideal para o alastramento de *C. fluminea*, organismos adaptados a leitos arenosos de rios.

Outro molusco de interesse trata-se do *Biomphalaria sp.* Embora encontrados em baixas abundâncias e limitados a apenas alguns pontos amostrais, determinados gêneros de *Biomphalaria* são hospedeiros intermediários do *Schistosoma mansoni*, causador da esquistossomose, parasitose endêmica da região do Vale do Rio Doce. A ocorrência, do gênero *Biomphalaria*, serve como um importante alerta, embora não tenham sido feitas identificações ao nível de espécies e tampouco testes para verificar se havia infecção por *S. mansoni*, não sendo possível fazer afirmações sobre seu potencial de disseminação da doença.

Ephemeroptera e Trichoptera foram encontrados em baixas abundâncias em pontos do rio Doce e tributários, enquanto Plecopteras não foram identificados em nenhum ponto amostral. Essa baixa representatividade de grupo indicador EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) sugere que as condições ecológicas dos trechos do rio Doce e de seus tributários não fornecem qualidade de água e diversidade de habitat suficiente para esses indivíduos, comprometendo a sua colonização e distribuição.

Em parte, a baixa riqueza encontrada nos pontos do rio Doce e tributários pode ser explicada pela baixa diversidade de habitats disponíveis para biota e leitos formados principalmente por frações finas de sedimentos. Ambientes impactados tendem a apresentar reduzida diversidade e elevada dominância por poucas espécies. De maneira geral, os pontos amostrados no rio Doce e seus tributários apresentaram, em média, baixos valores para o índice de diversidade de Shannon e valores mais elevados para o índice de Simpson (dominância). Estes resultados podem estar associados à deterioração da qualidade da água, impossibilitando a sobrevivência e o desenvolvimento de determinados grupos de macroinvertebrados bentônicos.

Em relação aos índices biológicos, observou-se que, de maneira geral, tanto o BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) quanto o Índice Multimétrico Bentônico (IMB) classificaram os pontos amostrais em condições “intermediárias” e “ruins” em suas respectivas classes de condições ecológicas. No entanto, estes índices devem ser interpretados com cautela quando são aplicados fora da área de estudos para o qual foram desenvolvidos. Isso porque diferentes bacias hidrográficas apresentam diferentes contextos de ocupação do entorno (e seus impactos) além de apresentarem também características ambientais naturais específicas (geologia, relevo, pluviosidade, declividade, etc) sendo esperado, portanto, diferentes componentes e respostas biológicas. Dessa forma, especialmente para o IMB, desenvolvido para a bacia do Rio das Velhas, sugere-se avaliar os resultados frente s suas variações ao longo do tempo do que atentar-se apenas à classe (muito boa, boa, regular e ruim) atribuída àquele ponto.

Tanto os pontos localizados na calha do rio Doce que receberam rejeitos do rompimento da barragem de Fundão, quanto pontos localizados em tributários que não sofreram esta influencia apresentaram baixos valores de riqueza, diversidade e pontuação de índices biológicos. Isso indica que condições pretéritas ao rompimento da barragem apresentavam integridade ecológica ruim, não abrigando a diversidade biológica esperada para ecossistemas lóticos. No entanto, a presença de rejeitos contribuiu ainda mais para a piora na qualidade das águas, com a deposição de rejeitos nas

margens e calha que soterraram habitats para a biota. Além disso, a matéria orgânica alóctone, isto é, aquela proveniente das adjacências do corpo d'água (principalmente pelo aporte foliar), é processada no leito dos rios, via cadeia de detritos (decompositores, detritívoros e consumidores de fungos e bactérias). Isso representa importante fonte energética para as comunidades de macroinvertebrados bentônicos, que também foi comprometida pelo soterramento (IBAMA, 2015).

Em relação à sazonalidade, observou-se que, entre as métricas calculadas, apenas a densidade de organismos foi significativamente mais elevada na seca (agosto/2017, setembro/2017 e outubro/2017). O aumento da vazão durante o período chuvoso acarreta na lavagem e desestabilização dos substratos no leito dos rios e conseqüentemente no desalojamento dos macroinvertebrados associados, reduzindo a abundância destes organismos, o que explica, portanto, a variação encontrada. A continuidade do monitoramento permitirá confirmar o padrão observado nestes primeiros seis meses de amostragem.

7.2.6 - Ensaios ecotoxicológicos

Para rios e tributários os testes de toxicidade aguda da água com *Daphnia similis* e *Danio rerio* realizados para alguns pontos localizados no trecho 1 não apresentaram resultados com efeito tóxico. Já para os testes de toxicidade crônica da água com *Ceriodaphnia dubia*, nos trechos 1 e 2 foram observados uma maior quantidade de ensaios com efeitos tóxicos, 68% e 65%, respectivamente. Com *Pseudokirchneriella subcapitata* o resultado foi diferente, pois no trecho 3, seguido pelo trecho 4, foram observados um maior número de ensaios com efeitos tóxicos, sendo 43% dos testes no trecho 3 e 29% no trecho 4. Importante relatar que nos quatro trechos, para os dois organismos, foram observados ensaios com efeitos tóxicos para pontos que não receberam rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão.

De certa forma, *Ceriodaphnia dubia* foi considerada mais sensível aos testes de toxicidade crônica, uma vez que foi observada uma maior quantidade de ensaios com efeitos tóxicos para *Ceriodaphnia dubia*, quando comparado com *Pseudokirchneriella subcapitata*. Esse resultado pode ser explicado pela posição que esses organismos ocupam na cadeia trófica.

Para os ensaios de toxicidade crônica do sedimento os trechos apresentaram resultados tóxicos para mais de 50% dos ensaios realizados, com exceção do trecho 2. Assim como observado para os testes crônicos realizados na água, alguns pontos que não receberam rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão também apresentaram efeito tóxico para o sedimento.

7.2.7 - Estações automáticas

Os resultados de precipitação avaliados pelo PMQQS confirmaram o padrão sazonal já conhecido para a bacia do rio Doce, de modo que maior intensidade de chuvas ocorreu entre os meses de novembro/2017 e janeiro/2018 e menores entre agosto a outubro/2017. Nos meses de maior precipitação foram registrados os maiores valores de turbidez, o que ocorre devido ao maior carregamento de partículas sólidas em suspensão para os rios, seja dos solos adjacentes, ou ressuspensão do sedimento de fundo e das margens dos rios. Neste período, foi comum a permanência da turbidez em valores superiores ao limite de 100 UNT estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2 nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, em pontos impactados e não impactados pelo rejeito da barragem de Fundão. Em contrapartida, em todo o período avaliado, os valores de oxigênio dissolvido atenderam ao limite estabelecido pela supracitada Resolução ($>5 \text{ mg.L}^{-1}$), mostrando, assim, que as águas apresentam-se com altas concentrações de oxigênio dissolvido. Em todos os rios avaliados, no geral, o pH atendeu a faixa de 6 a 9 estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2 e 6,5 a 8,5 para águas salobras de classe 1. A condutividade elétrica não tem limite definido em resolução ambiental, sendo que, no período avaliado, foram observados maiores valores entre agosto e outubro/2017 e menores entre novembro/2017 e janeiro/2018, à exceção da estação na foz do rio

Doce RDO16 em Linhares/ES, que tem influência de água salina. No que diz respeito aos níveis de alerta estabelecidos para o PMQQS, em algumas ocasiões foram observados valores acima destes limites de 1050 UNT e $150 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ que estiveram associados às fortes chuvas e interferências externas nas medições, de modo que não houve necessidade de intensificação do monitoramento.

7.3 - Lagoas

7.3.1 - Águas

As lagoas marginais localizadas no Espírito Santo são relevantes para este monitoramento, pois elas se conectam ao rio Doce por canais ou pelo extravasamento das águas do rio nas planícies quando do período de cheias. Das 6 lagoas monitoradas, as lagoas Juparanã, Areão, Areal e Monsarás foram as que apresentaram maiores valores de turbidez no período avaliado, sendo que padrão sazonal só foi observado para o ponto LMN01 da lagoa Monsarás. Maiores valores de turbidez, nem sempre foram acompanhados de maiores concentrações de sólidos suspensos totais, uma vez que só foram registrados picos nos meses de novembro/2017 e dezembro/2017 nestas lagoas. Todas as lagoas apresentaram elevada condutividade elétrica, em especial as lagoas do Limão, Areal e Areão. Na lagoa Monsarás, por ser salobra, os resultados de condutividade são claramente mais elevados, o que é um padrão esperado. No geral, a DBO foi baixa, sendo que grande parte dos valores estiveram abaixo do limite de quantificação. Valores abaixo do limite de $5 \text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 só foi identificado na estação LAL01 da lagoa do Areal (Linhares/ES) o que pode estar associado a uma carga pontual de esgotos domésticos, haja vista que a *E. coli* também esteve em alta concentração nesta ocasião. Apesar de terem sido identificados valores de *E. coli* acima do limite de 1000 NMP.100 mL⁻¹, em todas as lagoas os registros foram pontuais, de modo que, em conjunto com as concentrações da série nitrogenada e do fósforo, os resultados não foram conclusivos para indicação de entrada de esgotos domésticos nestes ambientes. As frações de nitrogênio e fósforo em muitos pontos não foram quantificadas por terem ficado abaixo do LQ dos respectivos métodos. As

concentrações de oxigênio dissolvido foram considerados normais para esses tipos de ambiente lântico.

Com relação aos metais, os resultados de alumínio dissolvido, ferro dissolvido e manganês total que foram superiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, para água doce de classe 2 ou para águas salobras de classe 1, ocorreram nas lagoas do Areão (alumínio e ferro), Areal (ferro, manganês e alumínio), Monsarás (ferro e manganês) e Juparanã (apenas alumínio). No geral, as lagoas do Areão e Areal foram as que mais apresentaram valores elevados relacionados a entrada de contaminantes, sejam eles de fontes pontuais ou difusas. Ressalta-se que estes metais foram geralmente maiores no período de chuvas.

O perfil das lagoas não apresentaram resultados conclusivos, uma vez que alguns perfis apresentaram padrões idênticos, tanto em resultados, quanto em dinâmica, mesmo em pontos mais profundos. Por outro lado, os resultados referentes à lagoa Nova e Juparanã corroboram com os dados da literatura para essas lagoas, sendo necessário mais estudos para se entender o funcionamento da coluna d'água das demais lagoas.

O padrão integrado das lagoas, avaliado através de análise estatística confirmou que a lagoa Juparanã e a lagoa do Areão estiveram relacionadas ao alumínio e a turbidez, indicando que nesses locais o alumínio entrou na coluna d'água em períodos de chuva. A lagoa do Areal, por sua vez, apresentou essa associação com o ferro, também em períodos de maior turbidez e a lagoa Monsarás, com o manganês. Por outro lado, as lagoas do Limão e Nova foram as que apresentaram menores concentrações de metais e dos demais parâmetros avaliados.

7.3.2 - Sedimentos

A análise dos resultados de sedimentos nas lagoas marginais ao rio Doce indicou que o carbono orgânico (lagoa do Areal-Linhares/ES) e o nitrogênio Kjeldahl (lagoas Nova, Juparanã, Areão, Areal e Monsarás) ultrapassaram os limites da Resolução CONAMA 454/2012 para ambiente de água doce/salobra nível 1 em algumas das lagoas amostradas. Esses resultados corroboram com os avaliados tanto na coluna d'água quanto nos resultados de testemunho dos sedimentos dessas lagoas.

Os sedimentos dessas lagoas merecem atenção pela associação desses compostos orgânicos com os metais, comumente encontrados nesses compartimentos, seja por deposição de contaminantes metálicos ou pela própria geologia da região. Pelos resultados de metais nos sedimentos das lagoas ora apresentados, não se pode afirmar que os rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão (Mariana/MG) tenham provocado o aumento da concentração de alguns metais e metaloides. Isto justifica-se porque em amostras de sedimentos de regiões não afetadas pelos rejeitos também foram encontradas elevadas concentrações de metais como alumínio, manganês, cobre, ferro e níquel. Além disso, em recente estudo elaborado pela Fundação Renova para subsídio do Plano de Manejo de Rejeitos das Lagoas do Espírito Santo – Projeto Piloto (JACOBS CH2 m, 2018) foi identificado depósito de rejeitos na lagoa Nova e no canal de ligação com o rio Doce, nas lagoas Areal e Areão, e apenas no canal de ligação da lagoa Juparanã, com espessura média de até no máximo 2,9 cm. Na lagoa Monsarás não foi identificado depósito de rejeitos na lagoa e nem canal de ligação. A lagoa do Limão ainda não foi caracterizada neste estudo. Portanto, o monitoramento é parte fundamental para se ter um entendimento integrado da coluna d'água e do sedimento e se existe um padrão temporal de acúmulo ou aporte de metais nos sedimentos.

7.3.3 - Testemunho

Para os metais e arsênio não foi observado um padrão que possa indicar deposição recente de partículas enriquecidas por esses elementos no sedimento, com exceção de LMN 01 (lagoa Monsarás – Linhares/ES) para alumínio, cobre, cromo e níquel e LAO 01 (lagoa do Areão – Linhares/ES) para o arsênio, que apresentaram maiores concentrações nas camadas superiores. Porém, vale ressaltar que LMN 01 apesar do padrão observado, não excedeu para nenhum parâmetro os limites preconizados pela Resolução CONAMA 454/2012 para ambiente de água doce nível 1, diferentemente de LAO 01 que apresentou concentração de arsênio acima do limite preconizado pela referida resolução. Outros pontos que não apresentaram padrões que pudessem indicar deposição recente ou mais antiga para metais e arsênio também apresentaram concentrações acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012 para ambiente de água doce nível 1 em suas profundidades, são esses LLM 01 (lagoa do Limão – Colatina/ES) e LJP 01 (lagoa Juparanã – Linhares/ES), LJP 02 (lagoa Juparanã – Linhares/ES) para arsênio e cromo, LJP 03 (lagoa Juparanã – Linhares/ES) apenas para cromo, LAO 01 (lagoa do Areão – Linhares/ES) para cobre, cromo e níquel, LAO 02 (lagoa do Areão – Linhares/ES) para arsênio, cromo e níquel e LAL 01 (lagoa do Areal – Linhares/ES) para arsênio e cromo.

7.3.4 - Comunidades aquáticas

O monitoramento das lagoas indicou uma diferenciação espacial (entre lagoas) significativa, considerando as diferentes contribuições das classes fitoplanctônicas. No entanto, de maneira geral, não foi possível evidenciar claros padrões temporais considerando os seis meses de monitoramento. Apesar das correlações negativas entre grupos taxonômicos da comunidade fitoplanctônica e os metais relacionados ao rejeito (alumínio, ferro e manganês), esses resultados não são conclusivos, sendo necessária a ampliação da série temporal para avaliar os efeitos do evento. Os dados apresentados por lagoas nesses seis meses de monitoramento permitiram observar, de um modo geral, baixos valores de densidade, diversidade, dominância e pouca variação destes valores ao longo das estações de amostragem.

Diatomáceas são tolerantes a ambientes de elevada energia, como turbulências geradas por ventos que mesclam a coluna d'água e ressuspendem os organismos, nutrientes e sedimentos, ou ausência de estratificação térmica, tendo sido um importante grupo nas lagoas rasas (lagoa do Areal, Areão). Ainda, foi importante na lagoa Nova nos meses de agosto/2017 e setembro/2017, período reconhecido de desestratificação da coluna d'água. As lagoas Juparanã e Nova apresentaram uma importante contribuição de cianobactérias, composta principalmente por gêneros filamentosos, que podem apresentar espécies potencialmente tóxicas. Dentre os principais gêneros registrados, destacam-se *Geitlerinema* sp., *Planktolynghya* sp., *Aphanizomenon* sp., *Cuspidotrrix* sp. Estes gêneros são considerados bons competidores por luz devido ao seu formato alongado, tolerantes a ambientes túrbidos e turbulentos e com elevada concentração de nutrientes (fósforo e nitrogênio). Somado a isso, as elevadas concentrações de células de cianobactérias, que ultrapassaram o limite estabelecido para água doce classe 2 pela Resolução do CONAMA 357/2005, especialmente no verão, reforçam a necessidade de monitoramento dessas lagoas, uma vez que estas lagoas são fontes de abastecimento de água para algumas populações do entorno. A habilidade desses organismos em tolerar certos tipos de ambiente (túrbido e com elevada concentração de nutrientes) indica um importante fator para manutenção de monitoramento das lagoas da porção do baixo rio Doce, frente aos efeitos do rompimento da barragem e à elevada turbidez dos sistemas diretamente afetados e por se tratarem de importantes indicadores de qualidade de água.

7.3.5 - Ensaios ecotoxicológicos

Para os ensaios de toxicidade aguda da água realizados nos pontos de lagoas com *Daphnia similis* e *Danio rerio* apenas o ponto LJP 01 (lagoa Juparanã – Linhares/ES) apresentou efeito tóxico. Já para os testes de toxicidade crônica, a maior parte dos pontos analisados apresentou efeito tóxico para os ensaios de *Ceriodaphnia dubia* com 89% dos ensaios na profundidade I, 94% na profundidade II e 100% na profundidade III. Já para os ensaios com *Pseudokirchneriella subcapitata* os resultados foram diferentes, com maior número de testes apresentando efeito não tóxico.

No sedimento, assim como para coluna d'água, a maioria dos pontos apresentaram efeito crônico de toxicidade, com exceção de LLM 01 e LLM 03 (lagoa do Limão – Colatina/ES), LJP 01 (lagoa Jurupaná – Linhares/ES), LMN 01 (lagoa Monsarás – Linhares/ES) em janeiro/2018 e para LMN 02 nos três meses avaliados (setembro/2017, outubro/2017 e janeiro/2018).

7.4 - Zona costeira e estuários

7.4.1 - Águas superficiais

Considerando a análise dos resultados dos parâmetros monitorados em águas superficiais e coluna d'água da zona costeira e estuarinas na malha amostral prevista no PMQQS, no período de agosto/2017 a janeiro/2018 estes primeiros resultados indicam que a chegada do material de rejeito pode ter alterado a qualidade da água dos pontos localizados próximos à foz do rio Doce, embora outros estudos indiquem que essa região possui outras fontes não associadas ao rompimento da barragem de Fundão, que prejudiquem a qualidade da água.

O conhecimento da dinâmica e condições oceanográficas na região é de suma importância para compreensão de como o ecossistema responde ao stress gerado pelo evento. Embora muitos valores de metais e metaloides dissolvidos estivessem abaixo do limite de quantificação do método, os metais associados ao rejeito (Alumínio Ferro, Manganês), apresentaram concentrações que violaram o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas salobras e salinas, principalmente próximos à foz do rio Doce, em período de cheia. Esses elementos, mesmo em baixas concentrações em águas marinhas, podem alterar o ecossistema na região, por serem micronutrientes, podendo causar alteração na biota. Observou-se também que os parâmetros associados ao lançamento de esgoto doméstico (compostos nitrogenados, fósforo e *E. coli*), em praticamente todos os pontos na zona costeira e estuarina, apresentaram concentrações que violaram a legislação vigente. Esse fato pode ser indicativo, que a origem desse material é seja proveniente do lançamento de esgotos dos municípios adjacentes, indicando que a zona costeira tem influência direta dessa contaminação, visto que a maioria destas localidades não possui tratamento de esgotos.

Portanto o presente relatório representa os resultados de um estudo de monitoramento de apenas seis meses, sendo necessárias mais amostragens em períodos distintos para um maior entendimento das reais alterações causadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

7.4.2 - Sedimentos

A análise dos resultados de metais acumulados nos sedimentos dos estuários do rio Doce, e dos localizados ao norte e ao sul deste, apontou que as maiores concentrações de ferro e manganês foram observadas no ponto ERD 01 (Linhares/ES) na foz do rio Doce, registradas em dezembro/2017. Estes resultados eram esperados, uma vez que estes elementos são constituintes do rejeito da barragem de Fundão. Portanto, como os estuários apresentam condições favoráveis para o acúmulo de metais (granulometria fina e alto percentual de carbono orgânico total), pode-se esperar que a carga de ferro e manganês transportada ao longo do rio Doce, fosse se acumular no estuário do rio Doce. Apesar da maior concentração de alumínio ter sido registrada no estuário Cricaré (Conceição da Barra/ES), também foram observados elevados valores na foz do rio Doce.

O estuário Rio Riacho (Aracruz/ES) apresentou elevadas concentrações de arsênio. Próximo a este ponto estão instalados complexos industriais do setor de celulose, petrolífero e portuário, que podem representar fontes de contaminantes para o ambiente estuarino. Por outro lado, já foi reportado que arenitos ferrosos de rochas sedimentares costeiras, provenientes da formação “Grupo” Barreiras, contribuem expressivamente para o enriquecimento das concentrações de arsênio na costa do Espírito Santo (MIRLEAN *et al.*, 2011).

Os pontos da zona costeira localizados logo ao sul da foz do rio Doce, em Regência (ZCS 05 e ZCS 06 - Linhares/ES), registraram as maiores concentrações para ferro, manganês, cobre e níquel. Estes resultados sugerem que a pluma do rio Doce contribui para estes altos valores registrados nestes pontos. Aparentemente, a fisionomia costeira, juntamente com a incidência de ondulações e correntes marinhas, favorecem preferencialmente a deposição da pluma do rio Doce nos pontos ZCS 05 e ZCS 06, em relação ao ponto localizado imediatamente a frente da foz do rio Doce (ZCN 01 – Povoação/ES).

Analisando a distribuição dos valores máximos nos pontos ao norte e ao sul de ZCN 01 (Regência – Linhares/ES), aparentemente, a pluma do rio Doce se dispersa a distâncias mais longas ao norte que ao sul, contribuindo com o aumento das concentrações de metais nos sedimentos dos pontos onde alcança, como é o caso do zinco, níquel, cromo e cobre.

7.4.3 - Comunidades aquáticas

Zona Costeira

Os resultados obtidos com o monitoramento da macrofauna e meiofauna bentônica em 18 pontos amostrais localizados ao longo da isóbata de 10 m na plataforma continental a norte e sul da foz do rio Doce (entre os municípios de Serra/ES e Caravelas/BA) nos permitiram fazer uma primeira avaliação da qualidade e integridade destes ecossistemas.

Em relação à composição da macrofauna bentônica, observou-se a predominância dos grupos Annelida (poliquetas), Arthropoda (crustáceos) e Mollusca, condizendo com estudos anteriores da macrofauna de zona costeira. Em relação aos pontos amostrais localizados na zona costeira, observou-se uma variação em relação aos resultados de índices de diversidade (riqueza, diversidade e equitabilidade) da macrofauna bentônica. Para a riqueza taxonômica, o ponto ZCN 08 localizado em Mucuri (Mucuri/BA) apresentou a maior média, e o ponto ZCS 07 em Jacaraípe (Serra/ES) a menor média. Para os índices de diversidade, observaram-se valores ligeiramente superiores nos pontos localizados na zona costeira norte. Valores de equitabilidade e dominância de Simpson não apresentaram nenhum padrão.

A meiofauna bentônica, por sua vez, foi representada principalmente pelos grupos Annelida, Nematoda e Arthropoda, padrão esperado para a meiofauna de zona costeira. De maneira oposta ao observado para a macrofauna, em média, valores mais elevados de riqueza e diversidade foram observados nos pontos da zona costeira localizados ao sul da foz do rio doce. Maiores valores de riqueza no ponto ZCS 08 em Manguinhos (Serra/ES) e de diversidade nos pontos ZCS 01 em

Refúgio (Aracruz/ES), ZCS 04 em Comboios (Aracruz/ES) e ZCS 07 em Jacaraípe (Serra/ES). Observou-se ainda que o ponto ZCN 01, localizado em Povoação (Linhares/ES) foi o que apresentou, em média, menor riqueza, menor densidade de organismos e menores valores para o índice de diversidade de Shannon. Este ponto encontra-se relativamente próximo a foz do rio Doce, tendo sido observado também neste ponto valores em desconformidade com a legislação para uma série de parâmetros de qualidade de água e sedimento.

Em relação à composição taxonômica dos principais grupos da macrofauna bentônica nos estuários, as maiores abundâncias de anelídeos (principalmente poliquetas), artrópodes (dípteros e crustáceos) e moluscos são um padrão esperado e reportado em estudos anteriores de composição da macrofauna de estuários.

Pontos localizados no estuário Piraquê-Açu (EPA 01 e EPA 02 em Aracruz/ES) apresentaram em média maior riqueza taxonômica. Além disso, nestes pontos também foi observada maior média para o Índice de Diversidade de Shannon e menor dominância (Índice de Simpson). Em relação à composição faunística, estes pontos também apresentaram maior diversidade de grupos taxonômicos (Nemertea, Chordata, Echinodermata, além dos principais grupos). A região do estuário Piraquê-Açu (Aracruz/ES) está localizada dentro de uma unidade de conservação municipal, coberta por florestas de manguezais preservadas (BISSOLI e BERNARDINO, 2018; SERVINO *et al.*, 2018), o que pode fornecer ambiente ideal para o desenvolvimento e estabelecimento de macrofauna bentônica diversa. Por outro lado, menores valores de riqueza e diversidade foram observados nos dois pontos amostrais do estuário Barra Nova (EBN 01 e EBN 02 em São Mateus/ES), onde apenas um indivíduo foi coletado em cada ponto no mês de agosto/2017. Estes pontos também apresentaram maiores concentrações de alumínio, ferro e manganês na água indicando possível influência antrópica no meio. No entanto, em estudo realizado em 2012 por Neves (2014), características da macrofauna foram muito distintas daquelas observadas aqui, e resultantes da influência de condições naturais (hidrodinamismo,

salinidade, sedimento). Essa divergência observada indica a necessidade de continuidade do biomonitoramento nestes pontos para melhor estabelecer relações causais entre fatores naturais e antrópicos sobre a estrutura e composição da macrofauna bentônica.

Em relação à caracterização da meiofauna bentônica, os principais grupos foram Annelida, Nematoda e Arthropoda, padrão encontrado em diversos outros estudos ecológicos em estuários. De maneira semelhante ao observado para a macrofauna, maiores valores de riqueza e diversidade de Shannon foram observados no estuário Piraquê-Açu (EPA 01 e EPA 02 em Aracruz/ES) e também maior densidade de organismos (ind.m^{-2}). Em média, menores valores de riqueza e diversidade foram observados no ponto localizado no estuário Barra Nova (EBN 02 em São Mateus/ES), além de menor uniformidade na distribuição dos indivíduos por táxon (equitabilidade). Estes resultados corroboram com aqueles observados para a macrofauna, indicando respostas biológicas similares nos dois casos.

A biodiversidade em ecossistemas estuarinos tende a ser mais baixa quando comparados com ecossistemas de água doce ou ecossistemas tipicamente marinhos. Isso porque, comparativamente, os estuários sofrem mais com condições adversas e imprevisíveis (salinidade, influência maré, aporte de material orgânico, etc). Além disso, a influência antrópica nestes ecossistemas contribui com a perda da qualidade de água com consequente prejuízo para fauna bentônica estuarina. De uma maneira geral, com exceção do estuário Piraquê-Açu, pontos amostrais nos estuários apresentaram baixos valores de riqueza taxonômica e diversidade, tanto para macrofauna quanto para meiofauna bentônica. Especialmente o ponto ERD 01, estuário Rio Doce localizado na foz do rio Doce (Linhares/ES), que sofreu diretamente com o impacto do rejeito, observou-se baixa riqueza, diversidade e abundância de organismos. No estudo conduzido por Gomes *et al.* (2017), no mesmo local (estuário Rio Doce), foi constatada alterações significativas na composição, diversidade e dominância trófica da macrofauna bentônica logo após o impacto da pluma de rejeitos, principalmente devido ao soterramento e lavagem dos organismos. Embora a área

impactada possa ser rapidamente recolonizada, é esperado que a composição faunística do local seja formada predominantemente por táxons tolerantes e oportunistas. Estes resultados indicam que a baixa diversidade observada no ponto ERD 01 pode ser consequência do impacto do rompimento da barragem e que seu monitoramento em longo prazo é fundamental no intuito de avaliar a recuperação da macrofauna bentônica através da avaliação de sua estrutura e composição. No sedimento de ERD 01 foram observadas as maiores concentrações de ferro e manganês, além de altas concentrações de alumínio, dentre os estuários avaliados.

Relatórios futuros, com maior período amostral, poderão trazer caracterização trófica dos organismos da macro e meiofauna, curvas de abundância e biomassa, avaliação temporal e espacial, e relações da biota variáveis ambientais, nos estuários e zona costeira. Desta forma, com o fechamento de pelo menos um ano de monitoramento, será possível compreender a variação encontrada nas comunidades bentônicas (macrofauna e meiofauna) e suas relações com as condições ambientais naturais e impactos de origem antrópica.