



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

REDE UFES – RIO DOCE

Resultados Parciais das Análises Realizadas em Amostras Coletadas na Plataforma Adjacente a Foz do Rio Doce: Embarque NOc. Vital de Oliveira

Relatório Fevereiro
2016



RELATÓRIO TÉCNICO PARCIAL

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Departamento de Oceanografia e Ecologia

**Resultados Parciais das Análises Realizadas em
Amostras Coletadas na Plataforma Adjacente a Foz do
Rio Doce: Embarque NOc. Vital de Oliveira**

Vitória

Fevereiro 2016

EQUIPE

PROFESSORES

DR. ALEX CARDOSO BASTOS, DR. CAMILO DIAS JR., DR. LUIZ FERNANDO F. LOUREIRO, DR. RENATO DAVID GHISOLFI, DR. RENATO RODRIGUES NETO E DRA. VALÉRIA DA SILVA QUARESMA

PESQUISADORES E ALUNOS

DRA. CAROLINE FIORIO GRILO, DEHAN RODRIGUES, DR. EDUARDO SCHETTINI COSTA, DR. FABIAN SÁ, FERNANDA PERASSOLI, Msc. GEANDRÉ C. BONI, GEORGETTE LÁZARO, KÁSSIA LEMOS, Msc. MARCOS DANIEL LEITE, MAYARA BANDEIRA, Msc. RENATA CAIADO CAGNIN, RICARDO BISI JR., Msc. RICARDO SERVINO, ROBERTO ROSSI E Msc. TAINÁ MARTINS.

INTRODUÇÃO

A formatação deste boletim segue a seguinte estrutura: Sumário Executivo apontando o escopo do trabalho com as informações sobre as coletas realizadas e os objetivos do boletim; Análise Preliminar Integrada descrevendo os principais resultados observados, analisando os impactos já passíveis de observação e indicando ações a serem tomadas nos programas de monitoramento futuros; Boletins Específicos, apresentando descritivamente os resultados obtidos para cada área/análise específica (geoquímica de metais, nutrientes, fitoplâncton, sedimentologia, oceanografia física). O objetivo principal deste Boletim é apresentar os resultados e discutir o que pode ser interpretado até o momento. A metodologia de coleta e de processamento foi descrita sem maiores detalhamentos, porém a mesma está disponível a quem interessar.

SUMÁRIO EXECUTIVO

Com o evento do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana, 55 milhões de m³ de dejetos de mineração foram despejados diretamente no rio Doce causando alterações físico-químicas e assoreamento do leito do rio. O movimento da massa de dejetos foi monitorado ao longo do curso do rio até a chegada na sua foz, no distrito de Regência (município de Linhares-ES). Os principais efeitos deletérios ao meio englobam a alta concentração de material particulado em suspensão e a potencial toxicidade dos metais que foram lançados no rio e que foram carregados até a foz e áreas adjacentes marinhas.

A luz do desastre ambiental, pesquisadores do Departamento de Oceanografia e Ecologia da UFES iniciaram ou deram continuidade a estudos na região da foz do Rio Doce e plataforma continental adjacente visando compreender o impacto e as alterações nos processos naturais, auxiliando os órgãos ambientais na caracterização e análise do processo de dispersão da pluma e na identificação da extensão do impacto.

Este boletim técnico apresenta, preliminarmente, resultados e análises obtidos nas primeiras amostras na região interior da foz do Rio Doce e na região marinha adjacente. A principal base de dados é constituída pela malha

amostral coletada em parceria com a Marinha do Brasil, pelo NOc. Vital de Oliveira (Fig. 1, Tabela 1). Adicionalmente, amostras coletadas de forma independente pela UFES também serão apresentadas.

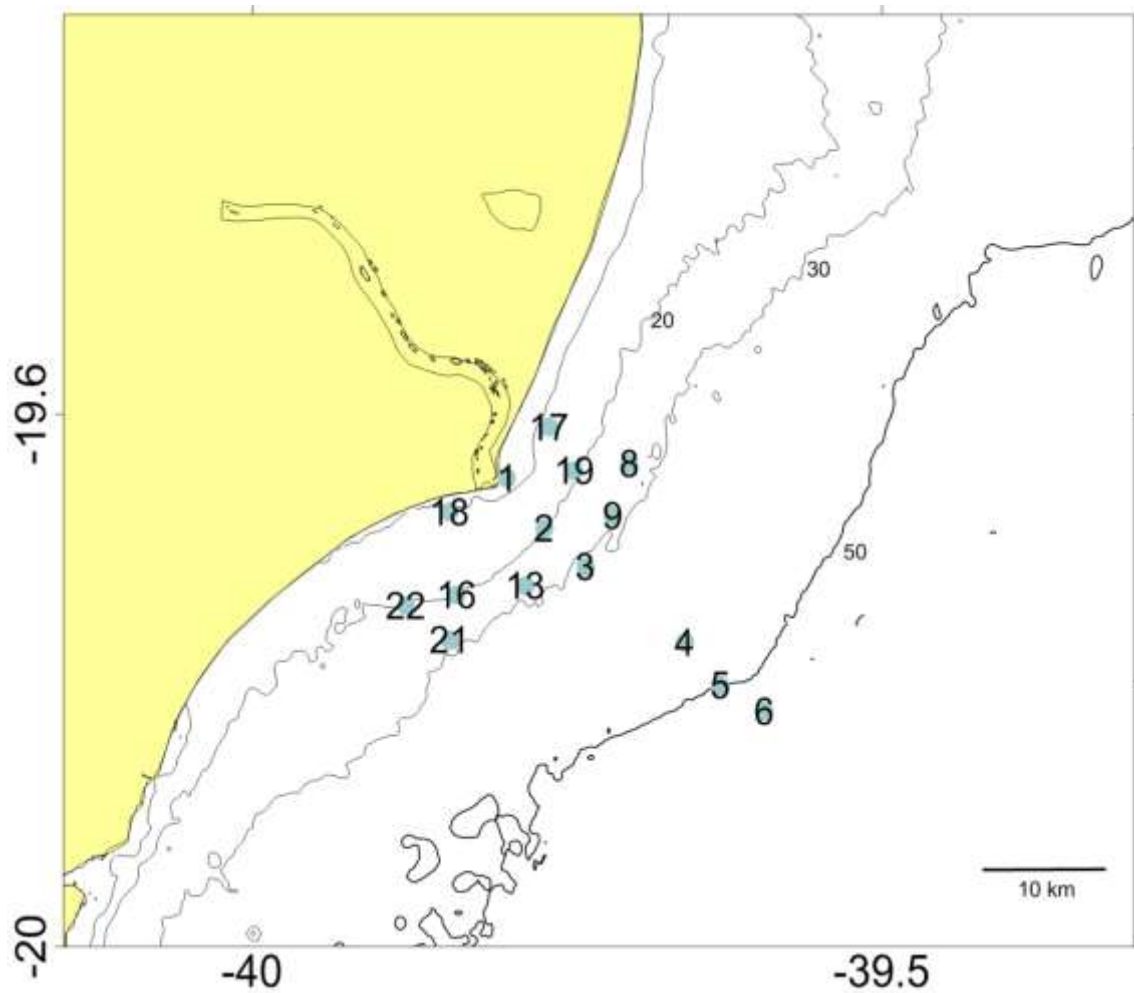


Figura 1. Mapa de localização das estações amostradas na expedição realizada pelo NOc. Vital de Oliveira.

Tabela 1: Estações amostrais realizadas na expedição realizada pelo NOc Vital de Oliveira. Coordenadas são apresentadas em grau decimal referenciadas ao sistema WGS84.

ESTAÇÕES	LONGITUDE	LATITUDE	DATAS DE COLETA
1	-39.7977	-19.6482	27/11, 29/11, 2/12
2	-39.7682	-19.6858	27/11, 29/11, 2/12
3	-39.7355	-19.7147	27/11
4	-39.6567	-19.7717	27/11
5	-39.6283	-19.8036	27/11
6	-39.5933	-19.8233	27/11
8	-39.7005	-19.6372	28/11
9	-39.7137	-19.6763	28/11
13	-39.7832	-19.7289	28/11
16	-39.8379	-19.7358	3/12
21	-39.8433	-19.7696	29/11, 2/12
17	-39.7643	-19.6098	29/11, 2/12
18	-39.8435	-19.6737	29/11, 2/12
19	-39.7443	-19.6425	29/11, 2/12
22	-39.878	-19.744	3/12

A expedição Vital de Oliveira consistiu em duas pernadas, sendo a primeira entre os dias 25 e 29 de novembro e a segunda entre os dias 1 e 4 de dezembro de 2015. Em cada estação amostral foram realizados: i) perfilagem de CTD com medição de parâmetros de Temperatura, Condutividade, Pressão, Fluorescência, Oxigênio Dissolvido e Turbidez; ii) coleta de água em duas ou três profundidades para a análise de concentração de material particulado em suspensão (MPS), composição deste MPS, análise geoquímica na fração total e dissolvida, análise de clorofila e feopigmentos; iii) coleta de amostra de fundo com amostrador *box corer* visando a análise granulométrica e composicional do sedimento, densidade de deposição, componentes orgânicos, metais e comunidade bentônica; iv) arrasto de rede vertical para análise da comunidade zooplanctônica e fitoplanctônica. Três estações localizadas em profundidades inferiores a 10m foram amostradas com o auxílio de uma lancha ou bote inflável. Também foram coletadas amostras de água, sedimento de fundo e arrasto vertical para plâncton. O quantitativo de análises totais (realizadas e a serem realizadas) a partir da expedição Vital de Oliveira é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Total de análises a serem realizadas depois da expedição Vital de Oliveira.

ANÁLISES	UFES/VITAL
Metais e MOT/TOC em sedimentos de fundo	80
Metais na água (total, dissolvido, particulado)	609
Clorofila a e nutrientes	303
Granulometria, densidade e mineralogia do sedimento de fundo	25
Concentração, granulometria, mineralogia do material particulado em suspensão (MPS)	153
Fitoplâncton – quali-quantitativo	100
Zooplâncton – quali-quantitativo	25

Os resultados aqui apresentados não correspondem a todas as amostras, mas principalmente àquelas coletadas nas estações mais próximas da foz do rio. O objetivo deste boletim técnico é apresentar uma primeira análise do impacto causado pela chegada do material de rejeito de mineração na foz, descrever e avaliar as principais mudanças causadas no meio e apontar possíveis impactos de maior prazo e outras análises que devem ser realizadas em um programa de monitoramento.

ANÁLISE PRELIMINAR INTEGRADA

A chamada onda de lama de rejeito alcançou a foz do Rio Doce no dia 21 de novembro de 2015. O ano de 2015 foi caracterizado por uma forte seca, aliada a um evento de El Niño muito forte quando a vazão do rio foi inferior a 200 m³/s por vários meses. Uma das evidências desta seca foi a reconfiguração geomorfológica da linha de costa, onde a foz principal do rio, a barra sul, foi fechada pelo transporte longitudinal e transversal dos bancos de areia. Durante pelo menos 6 meses, a única abertura de conexão entre o Rio Doce e o mar foi a barra norte, muito rasa e estreita. Além disso, a onda de maré conseguia avançar para dentro do rio, formando então um ambiente estuarino interno, o

que não era comum em condições normais de vazão do Rio Doce. O estuário do rio Doce era caracteristicamente externo, com grande influência de sua pluma de água doce no mar. Este contexto é importante porque mostra a situação hidrológica na qual o material de rejeito alcançou a desembocadura do rio. Em resumo, o nível do Rio Doce estava bem abaixo do normal. Segundo Oliveira (2015) o valor de vazão mediano para o rio seria próximo aos $500\text{m}^3/\text{s}$. No momento das amostragens esses valores não ultrapassavam os $300\text{m}^3/\text{s}$ diários segundo o site da Governança pelo Doce (www.governancapelodoce.com.br). No entanto, a carga de sólidos em suspensão era muito elevada devido ao aporte do material oriundo do rompimento da barragem de rejeito da Samarco em Minas Gerais.

A chegada de material no mar foi marcada por uma condição sinótica de ventos do quadrante sul associada a uma frente fria, com maior energia de ondas. Os dados aqui apresentados já foram coletados em um momento seguinte à passagem da frente fria. Os processos oceanográficos que imperavam neste momento foram medidos na expedição Vital de Oliveira, entre os dias 27 de novembro e 2 de dezembro, sob uma condição de vento moderado de NE. Nas amostragens realizadas a salinidade sempre esteve acima de 36, não sendo identificada a presença característica de água de origem continental, o que está associado ao forte período de estiagem do rio. Águas com temperatura menor que 22°C ocorreram sobre a plataforma continental em um processo de ressurgência incompleta, isto é, sem que essa água tivesse aflorado à superfície (Fig. 2). A entrada dessa água subsuperficial determinou um padrão de estratificação de um oceano em duas camadas, que foi observado ao longo de um perfil perpendicular à costa, entre 10 e 100m de profundidade. Próximo à desembocadura do rio foram medidas as maiores concentrações de turbidez junto ao fundo (identificável até a isóbata de 30 m, Fig. 2). Nessa mesma área foram medidas as menores concentrações de oxigênio dissolvido. Paralelo à costa, ao longo da isóbata de 30m, o padrão termohalino foi semelhante ao perpendicular. Altos níveis de turbidez associada aos menores níveis de oxigênio dissolvido foram visíveis junto ao fundo ao sul da desembocadura.

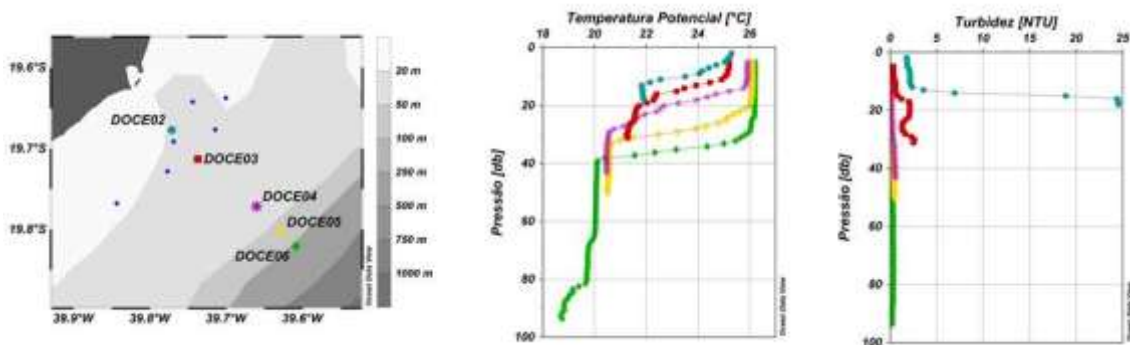


Figura 2. Exemplos de perfis de temperatura e turbidez obtidos em um perfil perpendicular à costa, em frente à foz do Rio Doce.

No que tange o material particulado em suspensão (MPS), as análises realizadas em amostras coletadas no rio (parte interior da foz) dia 22 de novembro mostraram uma concentração de MPS em torno de 300 mg/l na superfície. É importante destacar que a análise granulométrica deste MPS apresentou teores entre 80 e 90% na fração argila, ou seja, partículas menores que 4 micrômetros. Destaca-se nestas amostras ainda a fração colóide, chegando a 1% da amostra. As amostras coletadas na plataforma interna no mesmo dia, 22 de novembro, apontaram para concentrações de MPS na superfície de até 200 mg/l e chegando a 8700 mg/l no fundo. Todas as estações apresentaram alta concentração de MPS no fundo, o que pode indicar uma associação com a energia de ondas associada à frente fria instalada no dia 22 de novembro, mas também pode estar associada à rápida deposição do material fino, que ao chegar na plataforma floculou rapidamente em função da alta salinidade e da sua alta concentração. A granulometria do MPS na plataforma indicou teores entre 60 e 70% de silte, no caso, essa granulometria foi medida em um material já floculado, não tendo sido realizado um processo de desagregação das partículas.

A concentração de MPS diminuiu em direção ao mar aberto (Fig. 3). As maiores concentrações em superfície foram associadas às estações localizadas a cerca de 2km da foz, com valores em torno de 85 mg/l em superfície, e chegando a 300 mg/l próximo ao fundo. A concentração de MPS junto ao fundo foi maior nos primeiros 30m de profundidade, demarcando um

nítido limite entre as estações localizadas em profundidades rasas e aquelas localizadas a partir dos 40m de profundidade.

Os maiores valores junto ao fundo também podem demonstrar que havia um deslocamento desse material por correntes de fundo, mas para se afirmar isso faz-se necessário um acompanhamento do padrão hidrodinâmico com fundeio de equipamentos que nos permitam verificar o padrão de correntes junto ao fundo e o comportamento desse material em termos de transporte.

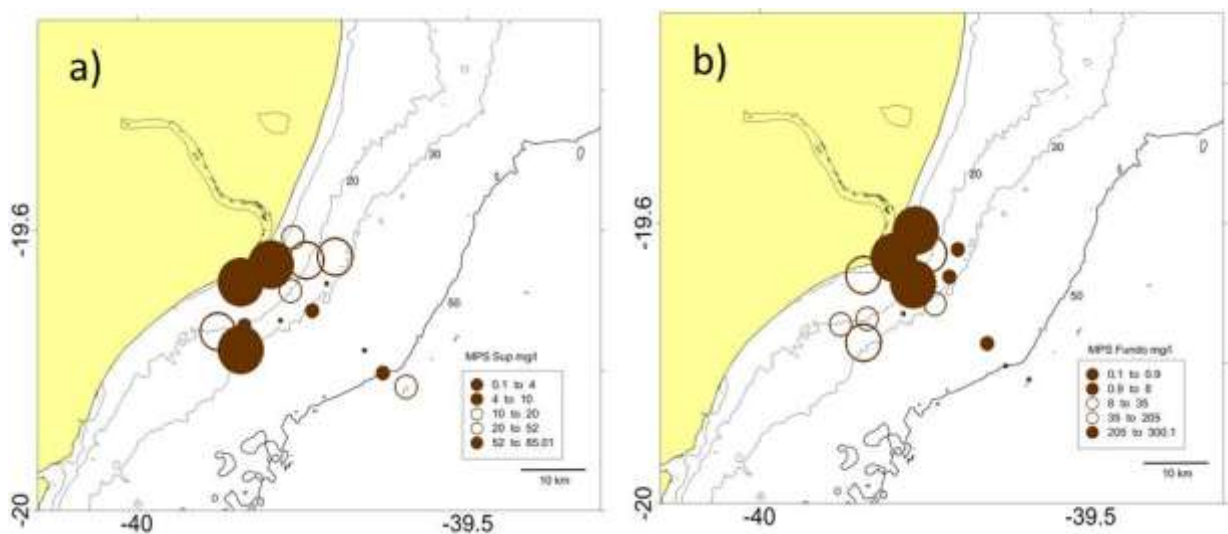


Figura 3: Distribuição das concentrações de MPS ao longo da plataforma adjacente à foz do Rio Doce, a) superfície; b) fundo. O diâmetro dos círculos aumenta com os valores de concentração (mg/l).

Em termos de acúmulo de sedimento junto ao fundo, a análise visual e as medições de densidade (*bulk density*) indicaram a deposição do material de rejeito no fundo e nas áreas preferenciais para acúmulo deste material. Os resultados mostram que as estações 18, 13, 16, 17, 21 e 22 (tons de azul – Fig 4, entre 8 e 29m de profundidade) apresentaram valores muito baixos de densidade ($775-1172 \text{ kg/m}^3$), sendo possível indicar a presença de uma camada de fundo móvel (1-2cm) (Fig. 4). Este resultado indica uma alta taxa de sedimentação durante este período e o alto potencial de ressuspensão deste material, uma vez que o mesmo está em um estágio conhecido como lama fluida, ou seja, ainda está em um processo deposicional. Estas primeiras análises de MPS e sedimento de fundo mostram que as concentrações de MPS são extremamente elevadas, a granulometria diminuiu em relação ao que o rio aportava na plataforma antes do desastre, e que o material fino está se

acumulando no fundo em direção sul, com taxas mais elevadas, porém seguindo o padrão conhecido de formação do lobo lamoso do rio Doce. Uma primeira análise indica que o sedimento fino está chegando a profundidades maiores, como 30m, quando antes ficava mais restrito à isóbata de 20-22m (Quaresma et al., 2015).

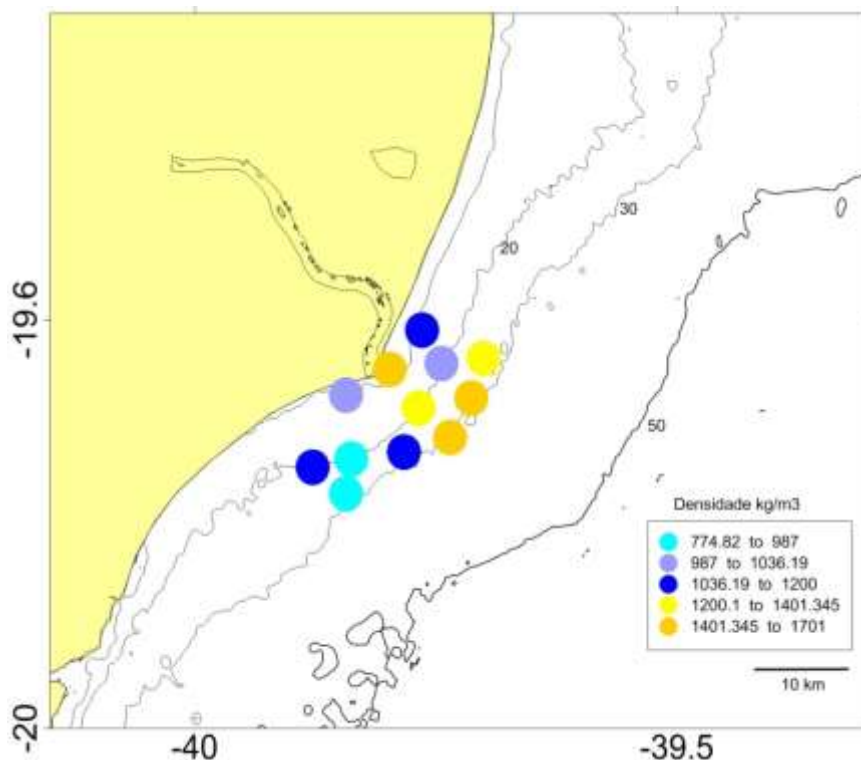


Figura 4: Distribuição dos valores de densidade do fundo (*bulk density*). Os menores valores de densidade (kg/m^3) indicam fundos mais móveis, com deposição mais recente.

Com relação aos teores de metais na água, as análises foram realizadas em duas frações: na amostra total e na porção dissolvida. As coletas foram realizadas ao longo do rio (em conjunto com um grupo independente - 12, 10, 3, 1 dias antes da chegada da lama e no dia de chegada da lama na foz) e no mar. Os resultados para a fração dissolvida não apontaram valores acima do limite definidos pela Resolução CONAMA 357. Por outro lado, a análise da fração total na água (incluindo o MPS) mostrou um nítido aumento das concentrações de Al, Fe, Mn e Cr total na desembocadura do rio Doce. A figura 5 mostra a variação temporal dos teores de Fe, Al, Mn e Cr total no rio e os teores no mar. As concentrações diminuem no ambiente marinho, provavelmente em função da diluição, mas ainda com concentrações mais

altas que o normal. Ressalta-se que este decréscimo observado reflete as condições ambientais registradas no momento da amostragem. Futuras alterações, como aumento no aporte de águas continentais e, conseqüentemente, maior vazão do rio, podem aumentar a carga de material transportado, variando a área de dispersão e diluição da pluma de rejeitos na Foz do Rio Doce.

As variações nas concentrações de alguns metais foram observadas na fração total. O mesmo não ocorreu na fração dissolvida indicando que a maior parte destes elementos estão associados à fração particulada em suspensão na coluna d'água. Tal observação deve ser monitorada ao longo do tempo, com o objetivo de verificar se poderá ou não ocorrer mudança nas frações analisadas, caracterizando a partição de metais da fase particulada para a fase dissolvida. Porém, valores de Fe dissolvido, mesmos abaixo dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA, não indicam ausência de impactos que podem ser gerados, pois este elemento é rapidamente removido da coluna d'água devido a sua solubilidade extremamente baixa na água do mar, além da necessidade biológica de ferro (WAITE, 2001). Desta forma, a rápida assimilação de ferro dissolvido pelo fitoplâncton pode manter valores baixos nesta fração, aumentando os valores de ferro na fração particulada. Entretanto, os valores de ferro dissolvido observados foram próximos aqueles observados por Souza *et al.* (2003) para o Rio Doce, sendo necessário o complemento e acompanhamento das análises para podermos confirmar a influência do ferro dissolvido sob a comunidade fitoplanctônica quando associada a presença de determinados nutrientes (LIU, et al., 2016).

Geralmente, ferro particulado é ignorado quando a disponibilidade deste elemento é contemplada. No entanto, ferro particulado pode tornar-se acessível a comunidade fitoplanctônica por dissolução em microambientes especializados, como por exemplo, dentro de colônias de *Trichodesmium* (Rueter *et al.*, 1992), ou por equilíbrio termoquímico em solução (Wells *et al.*, 1983), proporcionando portanto uma fonte de ferro dissolvido, além de possuir papel importante na geoquímica de elementos traços.

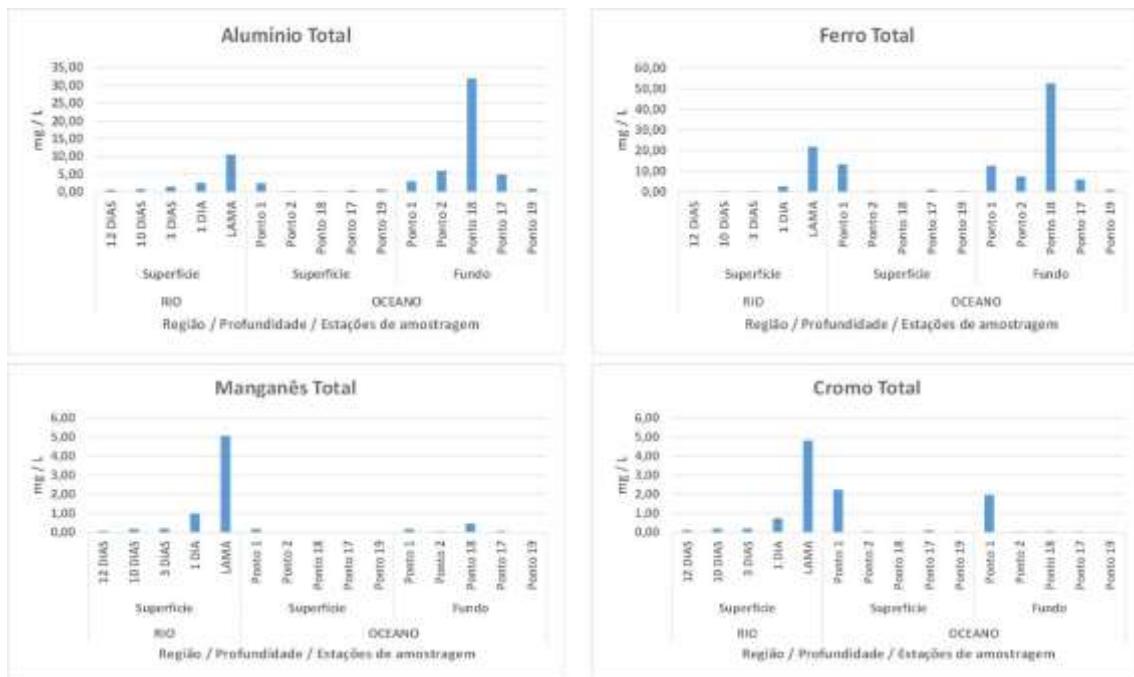


Figura 5: Variação nos teores de Fe, Mn, Al e Cr para frações totais em amostras no rio e no mar. Notar que as amostras do rio possuem uma variação temporal e as estações de coletas são próximas a foz.

Dentre estes elementos, também se destaca a alta concentração de cromo total, a qual pode estar associada a elevada presença de óxidos de ferro. Estudos demonstram toxicidade variável para determinados organismos marinhos, onde, por exemplo, peixes são menos sensíveis que invertebrados. Entretanto, larvas de peixes (ictioplâncton) são particularmente sensíveis a contaminação por cromo (Mance *et al.*, 1984). A toxicidade de cromo ocorre pela assimilação deste elemento principalmente na forma dissolvida, a qual esteve abaixo do limite de detecção até o momento. Porém, assim como comentado anteriormente, estes elementos podem alterar a forma que se encontram, ou seja passar da forma particulada para dissolvida, ou o contrário, devido a diversos fatores ambientais. Mesmo após a sedimentação deste material particulado, os metais associados podem ser disponibilizados para a coluna d'água. Somente com a continuidade das análises ao longo de um monitoramento temporal tais especulações poderão ser observadas.

As concentrações de nutrientes foram também determinadas ao longo das estações no rio e no mar. Nos quatro pontos avaliados no rio elevadas concentrações de nitrato ($50,69 \mu\text{M}$), nitrogênio amoniacal ($9,07 \mu\text{M}$) e silício

(175,47 μM) foram observadas. Observou-se ainda que os picos de concentração de nutrientes aconteceram um dia antes da chega da lama na foz. Elevadas concentrações de compostos nitrogenados, usualmente, estão associados ao aporte por atividades antrópicas, como o lançamento de efluentes domésticos, industriais e uso de fertilizantes (AGUIAR et al., 2011; MIZERKOWSKI et al., 2012). Outro fator que pode explicar os elevados níveis de nitrogênio inorgânico seria o subproduto da oxidação de compostos (i.e. éter mono e diaminas) usados na mineração para flotação de minério de ferro (MA, 2012). As análises marinhas apontam para elevadas concentrações de nitrato (26,48 μM), sílica (65,58 μM) e nitrogênio amoniacal (2,32 μM) nas estações próximas à desembocadura do rio, usualmente, na superfície. Estas estações analisadas foram amostradas mais de uma vez durante a expedição, e os valores foram sempre elevados. Os nutrientes encontrados no rio Doce e plataforma continental adjacente apresentaram valores abaixo ao que a legislação brasileira (CONAMA 357/2005) estabelece como limites para águas doces e águas salinas.

O potencial impacto no mar causado pelo aporte do material de rejeito pode começar a ser avaliado diretamente na produção primária. A investigação qualitativa do fitoplâncton mostrou valores elevados de clorofila *a* nas estações próximas a foz do rio Doce. Os valores mais elevados (5,3 $\mu\text{g/l}$) podem ser considerados muito altos para regiões costeiras, mesmo próximas de um estuário. No entanto, várias amostras mostraram valores abaixo do nível de detecção do método. Observou-se que valores muito elevados de feopigmentos foram registrados principalmente nos pontos 1 e 17 (3 e 9,1 $\mu\text{g/l}$), localizados próximo da desembocadura do rio e, justamente, onde todos os valores de clorofila *a* ficaram abaixo do limite de detecção (Fig. 6).

A presença de feopigmentos com valores elevados em comparação com a clorofila *a* geralmente demonstra uma comunidade fitoplanctônica em processo de senescência (decomposição pigmentar), já que os feopigmentos representam o primeiro estágio de decomposição da clorofila *a*. Uma primeira avaliação deste comportamento da comunidade fitoplanctônica pode indicar uma dinâmica bastante acelerada de produção primária, com floração de algas e rápida mortandade.

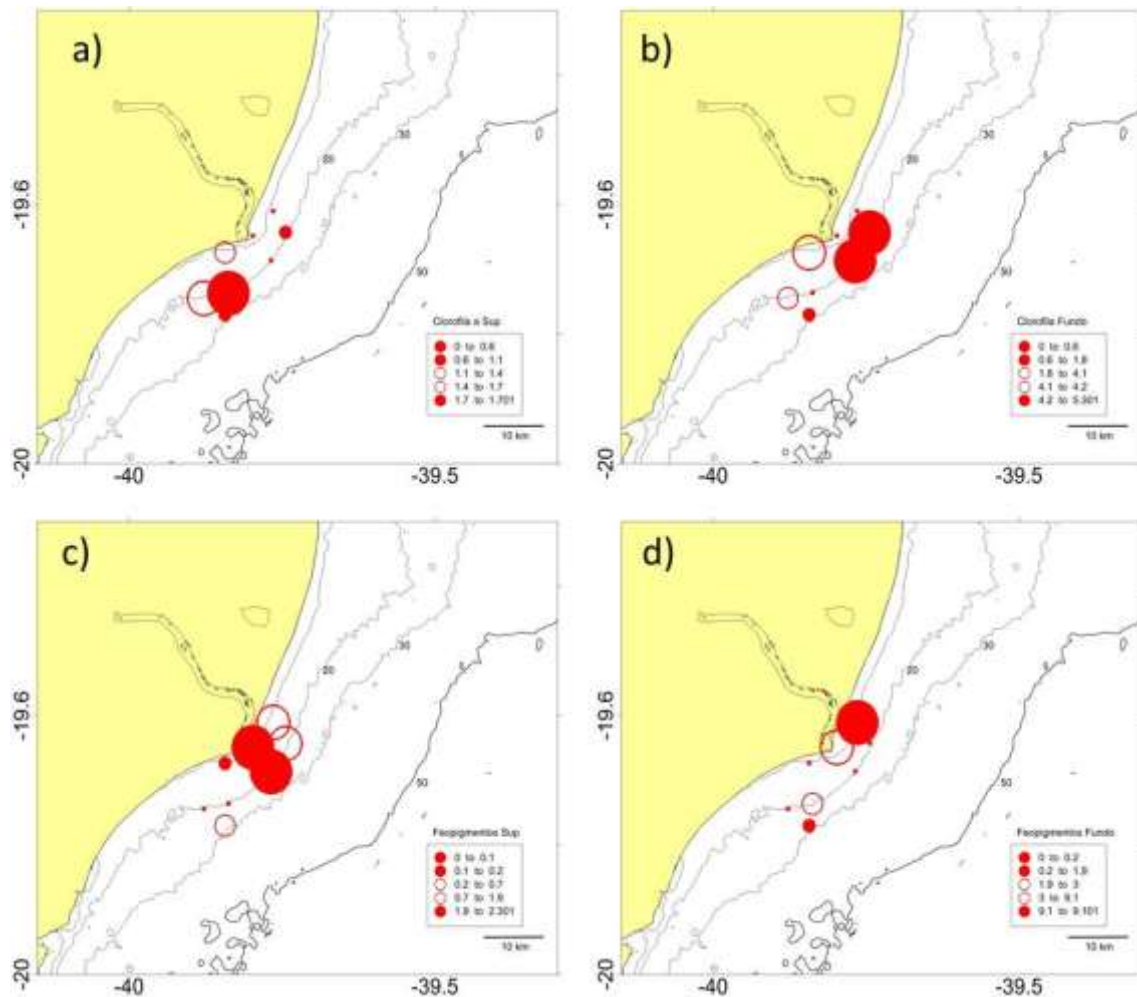


Figura 6: Distribuição espacial dos valores de *Clorofila a* (a superfície, b fundo); e Feopigmentos c) superfície e d) fundo. Os diâmetros dos círculos aumentam com o aumento das respectivas concentrações ($\mu\text{g/l}$).

As análises qualitativas indicaram uma redução no número de espécies em relação ao que se esperava encontrar. Considerando-se as duas campanhas realizadas pelo navio, o número de espécies aumentou de 12 para 26, entre as campanhas. No entanto, o valor médio de número de espécies esperado para esta região marinha estaria em torno de 50 a 60. O recente avistamento aéreo de florações que, devido a coloração, seriam da Cyanophyceae do gênero *Trichodesmium*, uma Oscillatoriales fixadora de nitrogênio, sugere que a presença de ferro dissolvido poderia estar causando estas florações.

Acompanhando a produção primária, uma análise ainda preliminar da comunidade zooplanctônica aponta para uma redução do número de táxons e da abundância total do zooplâncton na região da desembocadura do Rio Doce,

comparativamente a estudos prévios. No presente estudo foram observados 16 táxons, enquanto que em estudo anterior durante o período de verão foram identificados 23 táxons. A abundância total do zooplâncton reduziu de 1283 ind.m⁻³ para 559 ind.m⁻³, uma redução de aproximadamente 56% na quantidade de indivíduos. A princípio já existe evidência de substituição de espécies, como no caso de copépodos do gênero *Oithona* que não haviam sido observados anteriormente na região, sendo *Oithona nana* uma das espécies dominantes com 109 ind.m⁻³. Outra espécie que não havia sido reportada anteriormente, *Parvocalanus scotti*, foi a espécie dominante com 346 ind.m⁻³.

Considerando uma análise preliminar baseada nos dados processados até o momento, pode-se dizer que efetivamente a chegada do material de rejeito alterou a característica do processo de dispersão sedimentar e introduziu um aumento na concentração de metais na fração total da água. Os elevados valores de concentração de MPS causam um impacto importante na coluna d'água, diminuindo a penetração de luz e aumentando taxas de sedimentação. Este impacto inicial causado em novembro/dezembro de 2015 é marcado ainda pela forte estiagem do Rio Doce durante todo o ano de 2015. Embora a presença de metais dissolvidos na água nestas primeiras amostras analisadas não tenha ultrapassado o limite estabelecido pela CONAMA 357, um aumento no teor de Fe em águas marinhas pode alterar significativamente o ecossistema na região, aumentando a produtividade primária. A princípio, observa-se uma alteração do ecossistema na desembocadura do Rio Doce com perda de diversidade e substituição de algumas espécies, além de uma perda significativa de abundância, o que pode comprometer futuramente os estoques pesqueiros da região. Embora ainda não se tenha qualquer resultado sobre a comunidade bentônica, o aumento nas taxas de sedimentação e os altos valores de concentração de metais que podem acumular no fundo, têm o potencial de gerar um impacto significativo nesta comunidade.

Estes primeiros resultados apontam para a necessidade de um programa de monitoramento contínuo na região da foz do Rio Doce, expandindo para a plataforma externa e áreas adjacentes. Este programa precisa considerar o monitoramento da dispersão sedimentar e da pluma, integrado com o estudo das comunidades planctônicas e bentônicas, bem como já medindo índices de

metais em tecidos de vários organismos marinhos. O conhecimento e monitoramento das condições oceanográficas na região se faz de grande importância para que se possa compreender o comportamento do ambiente e seus ecossistemas frente às diferentes condições forçantes. Os resultados preliminares aqui apresentados refletem uma condição específica associada a um impacto inicial causado por um evento de grande magnitude que, a princípio, continua aportando material de rejeito na bacia hidrográfica.

Referências

AGUIAR, V. M. C.; NETO, J. A. B.; RANGEL, C. M. Eutrophication and hypoxia in four streams discharging in Guanabara Bay, RJ, Brazil, a case study. **Marine Pollution Bulletin**. vol. 62, pag.1915-1919, 2011.

CONAMA 357/2005

LIU, F.J., HUANG, B.Q., LI, S.X., ZHENG, F.Y., HUANG, X.G. Effect of nitrate enrichment and diatoms on the bioavailability of Fe(III) oxyhydroxide colloids in seawater. *Chemosphere* 147, 105-113, 2016

MA, M. Froth flotation of iron ores. **International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing**. vol. 1(2), pag. 56-61, 2012.

MIZERKOWSKI, B. D.; HESSE, K.; LADWIG, N.; MACHADO, E. C.; ROSA, R.; ARAUJO, T.; KOCH, D. Sources, loads and dispersion of dissolved inorganic nutrients in Paranaguá Bay. **Ocean Dynamics**. Vol. 62, pag. 1409-1424, 2012.

QUARESMA, V.S.; G.M. CATABRIGA ; BOURGUINON, S.C. ; GODINHO, E. ; BASTOS, A.C. Modern sedimentary processes along the Doce river adjacent continental shelf. *Brazilian Journal of Geology*, v. 45, p. 635-644, 2015.

SOUZA, W.F.L., KNOPPERS, B., BALZER, W., LEIPE, T. Geoquímica e fluxos de nutrientes, ferro e manganês para a costa leste do Brasil. *Geochimica Brasiliensis*, 17 (2) 130 – 144, 2003.

WAITE, T.D. Thermodynamics of the Iron System in Seawater in *The Biogeochemistry of Iron in Seawater*, IUPAC Series on Analytical and Physical Chemistry of Environmental Systems, D.R. Turner and K.A. Hunter, Eds. Wiley-Interscience, New York, 2001.