



# **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, Apa Costa das Algas e Plataforma de  
Abrolhos: Embarque Soloncy Moura**

**Vitória**

**Abril 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. TAYNÁ MARTINS.*

## **INTRODUÇÃO**

A formatação deste relatório 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 nesta campanha e comparando com o momento anterior da chega de rejeitos ao mar 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, zooplâncton, sedimentologia, oceanografia física). O objetivo principal deste Boletim é apresentar os resultados e discutir o que pode ser interpretado até o momento, considerando o intervalo temporal entre as duas amostragens.

## **SUMÁRIO EXECUTIVO**

Com o evento do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana, 35 milhões de m<sup>3</sup> de dejetos de mineração foram despejados diretamente no rio Doce causando alterações físico-químicas e assoreamento do leito do rio. Estima-se que a barragem continha cerca de 50 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito e sabe-se que até Abril de 2015 a barragem continuava a vazar material para o sistema fluvial. 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 carreados 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.

Em um primeiro momento foi coletado um conjunto de dados 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 foram realizadas. Esta primeira etapa ocorreu nos meses de novembro de dezembro de 2015. A segunda etapa se deu a partir de um projeto integrado entre a academia (UFES e FURG) e o Instituto Chico Mendes para Conservação da Biodiversidade (ICMBio) a bordo da embarcação Soloncy Moura do CEPsul/ICMBio.

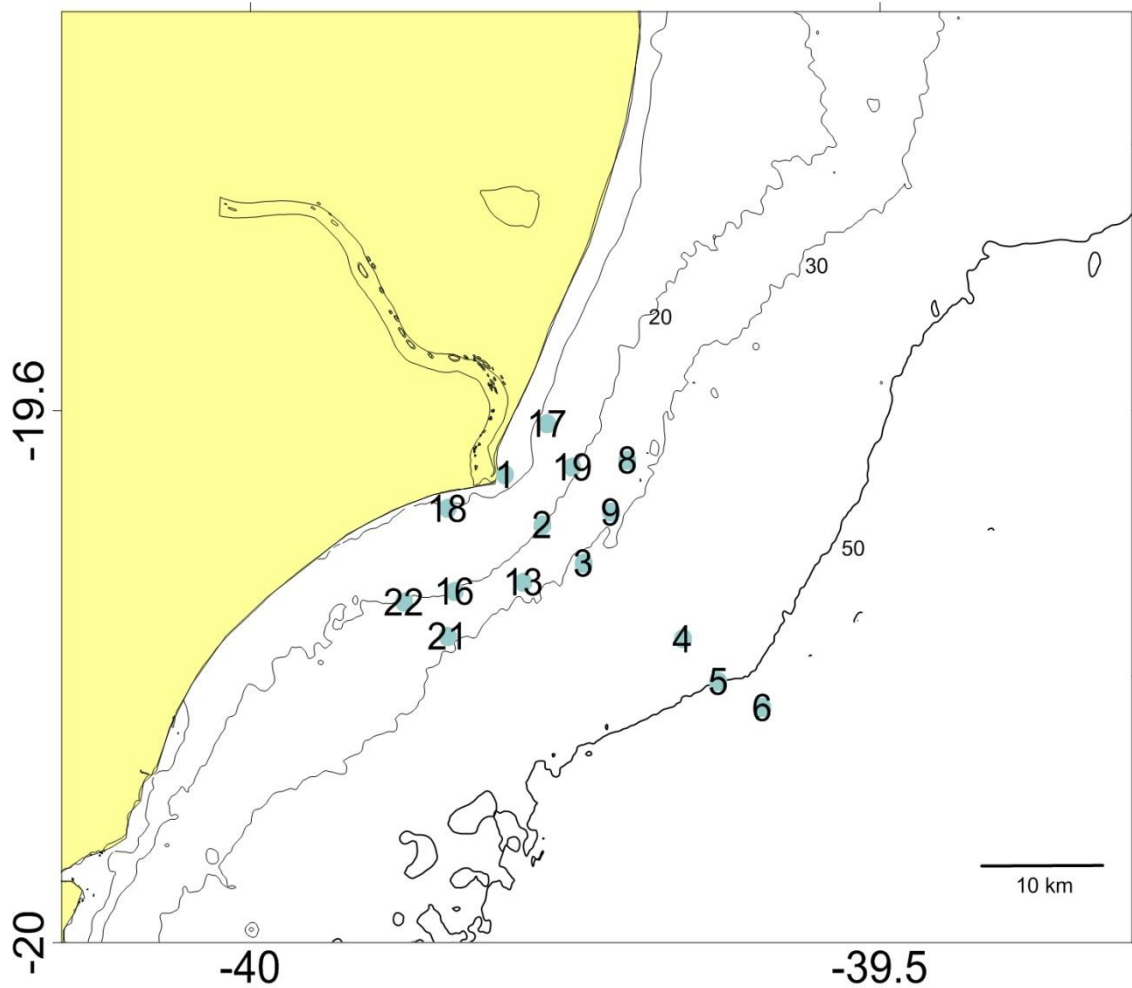


Figura 1. Mapa de localização das estações amostradas na expedição realizada pelo NOc. Vital de Oliveira.

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 Soloncy Moura consistiu em uma perna realizada entre 27 de janeiro e 2 de fevereiro de 2016. As estações foram classificadas como sendo completas e light. Nas estações completas foram realizadas: i) perfilagem de CTD com medição de parâmetros de Temperatura, Condutividade, Pressão, Fluorescência 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 *van veen* visando a análise granulométrica e composicional do sedimento, densidade do depósito, componentes orgânicos e metais; iv) arrasto de rede vertical para análise da comunidade zooplanctônica e fitoplanctônica; v) arrasto de rede de pesca para coleta de peixes e crustáceos visando a determinação de índices de bioacumulação e nível de estresse dos organismos (análise não apresentada aqui, realizada pela FURG). As estações light coletaram todos os parâmetros acima, exceto o arrasto de rede de fundo. Nas estações recifais de Abrolhos não foi realizado o arrasto de fundo e sim instaladas armadilhas para captura de peixes. Foi realizado ainda mergulhos para coleta de amostras de corais para análise de metais (realizada pela FURG). A Tabela 2 apresenta a lista das estações amostradas a bordo do Soloncy Moura. As figuras 2 e 3 mostram os mapas com a localização das estações.

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.

Tabela 2: Estações amostradas a bordo do Navio Soloncy Moura. ABR – Abrolhos, CA- Costa das Algas, SD- Foz Rio Doce e BN-Barra Norte.

Ponto	Lat	Long	Data	Hora	Tipo de estação	Profundidade	Coleta de água	Sedimento	Plancton (Fito, Ictio, Zoo - UFES)	Zooplankton (FURG)	Endofauna sedimentar	Arrasto	Armadilha	Mergulho
SD1/FRD 1	-19.653167	-39.786389	28/01/2016	08:37	Completa	12	X	X	X	X	X	X		
SD2/FRD 2	-19.686389	-39.769056	28/01/2016	12:17	Light	23	X	X	X					
SD3 /FDR 3	-19.714556	-39.736972	28/01/2016	14:00	Completa	32	X	X	X	X	X	X		
SD4/FRD4	-19.757861	-39.682778	01/02/2016	15:28	Light	41	X	X	X					
SD-N13/FRD 9	-19.507056	-39.683611	31/01/2016 e 01/02/16	19:15 e 06:15	Completa	14	X	X	X	X		X		
SD-N20/FRD 5	-19.624583	-39.729278	01/02/2016	12:06	Light	21	X	X	X					
SD-N30/FRD6	-19.605417	-39.689250	01/02/2016	08:12	Completa	30	X	X	X	X	X	X		
SD-S13/FRD10	-19.764722	-39.959694	27/01/2016	16:55	Completa	19	X	X	X	X	X	X		
SD-S20/FRD7	-19.742333	-39.841028	28/01/2016	06:15	Light	20	X	X	X					
SD-S30/FRD 8	-19.840528	-39.886139	27/01/2016	07:00	Completa	33	X	X	X	X	X	X		
ABR1	-17.934861	-39.227222	29/01/2016	13:12	Completa	11	X	X	X	X	X	X	X	X
ABR2	-17.991722	-38.697111	30/01/2016	06:36	Completa	19	X	X	X	X	X		X	X
ABR3	-17.981722	-38.715083	30/01/2016	09:42	Light	16	X	X	X					
ABR4	-17.884139	-38.759722	30/01/2016	13:28	Completa	16	X	X	X	X	X			X
ABR5	-18.020278	-38.837722	30/01/2016	17:04	Light	26	X	X	X					
BN1	-18.957417	-39.358639	31/01/2016	06:41	Completa	34	X	X	X	X				
BN2	-18.957417	-39.608194	31/01/2016	11:05	Completa	25	X	X	X	X	X	X		
CA1	-19.977583	-40.108306	02/02/2016	06:30	Completa	22	X	X	X	X	X	X		X
CA2	-19.972194	-40.048111	02/02/2016	11:17	Light	35	X	X	X					
CA3	-19.973833	-39.915306	02/02/2016	13:44	Completa	47	X	X	X	X		X		
CA4	-19.932611	-39.782583	02/02/2016	17:44	Light	50	X	X	X					

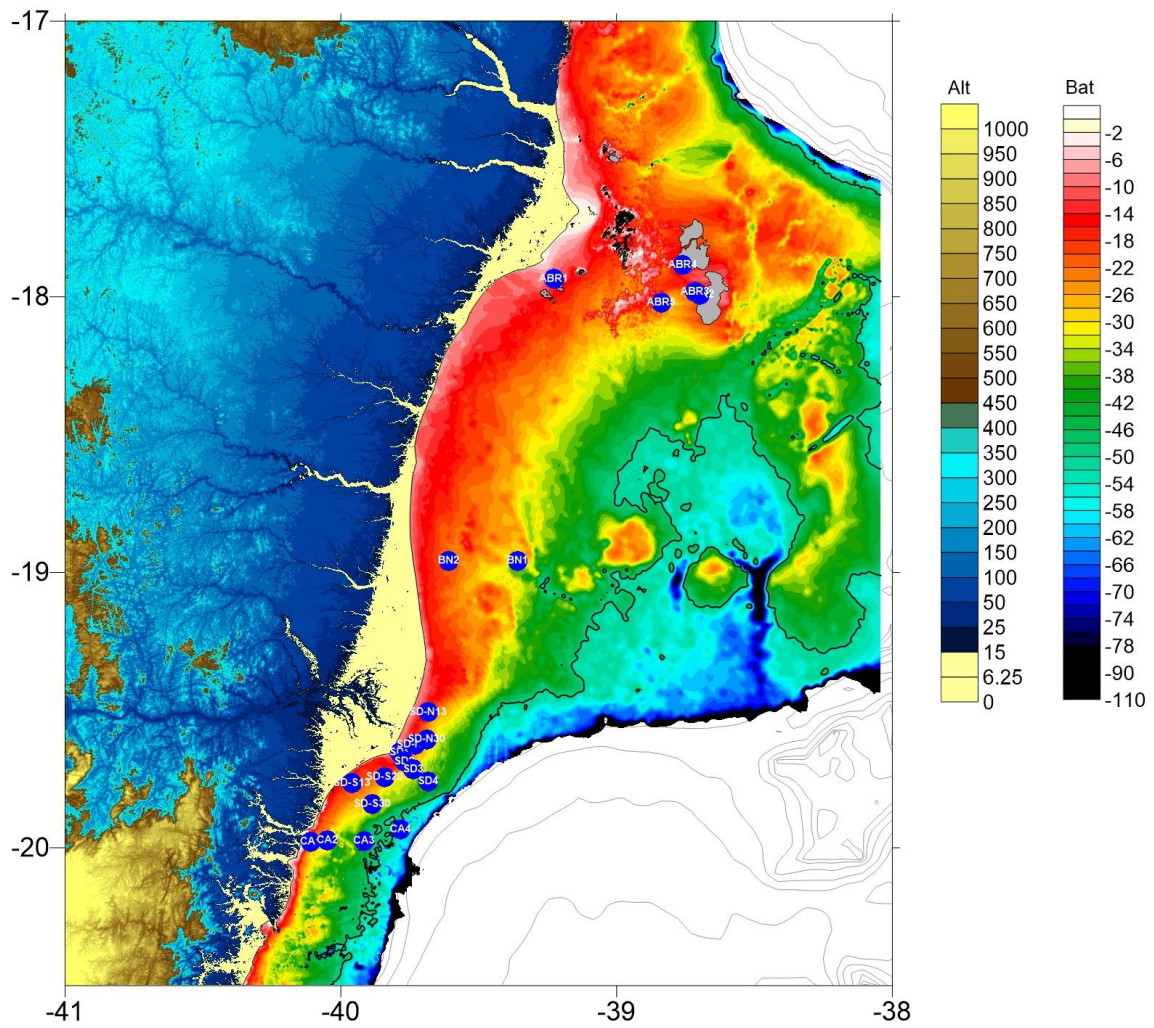


Figura 2. Mapa com a localização da distribuição das estações amostrais da campanha Soloncy Moura.



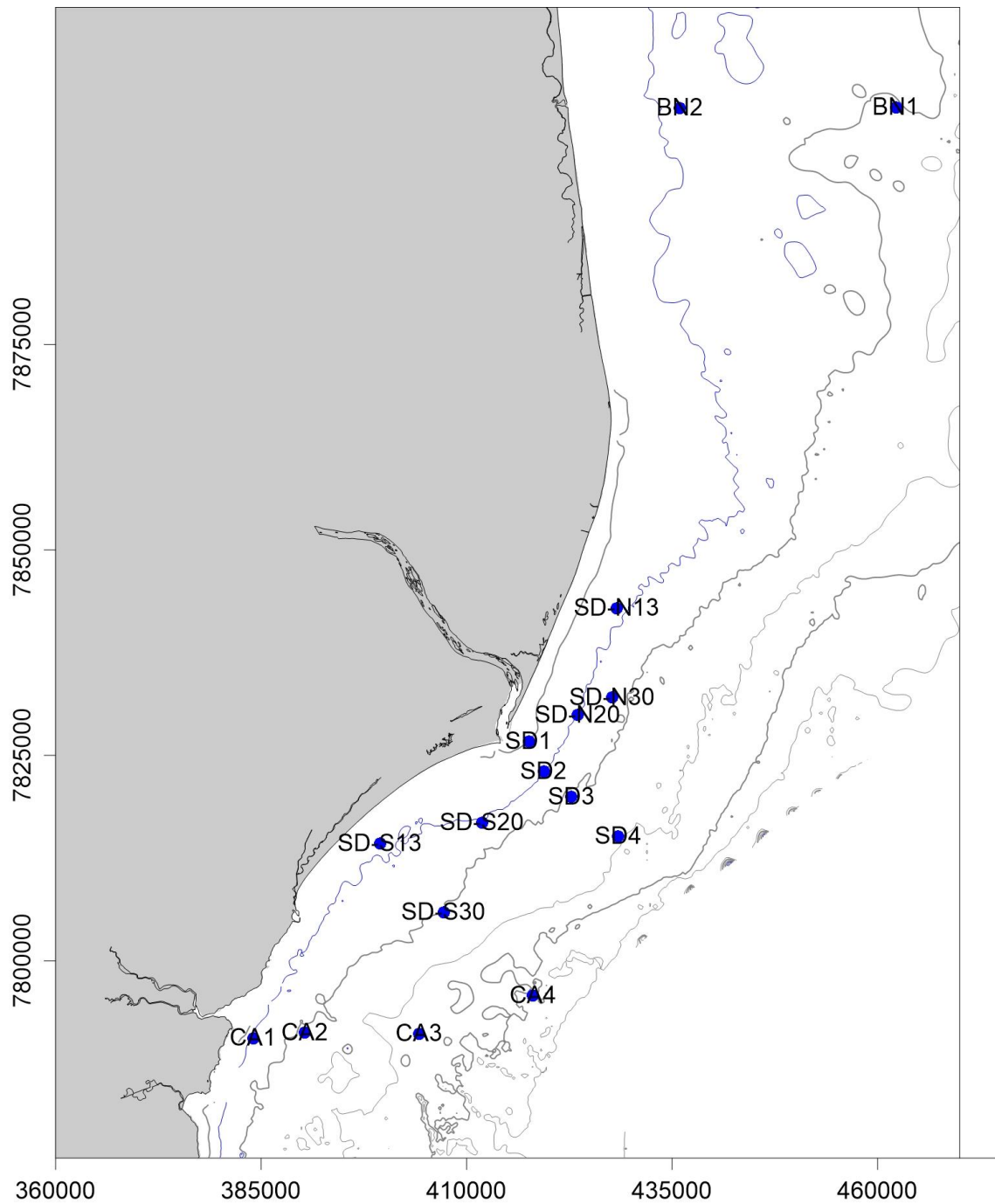


Figura 3. Mapa com o detalhe das estações amostrais realizadas na Foz do Rio Doce e APA Costa das Algas (CA).

**ANÁLISE PRELIMINAR INTEGRADA**

O rompimento da Barragem de Fundão inseriu no sistema cerca de 35 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito de mineração, de acordo com informações da Mineradora Samarco. A Mineradora estima que 85% deste rejeito tenha ficado retido na porção mais a montante da bacia hidrográfica do Rio Doce. O acidente ocorreu no dia 5 de novembro de 2015, sendo que no dia 21 de novembro a lama de rejeito de minério alcançou a foz do Rio Doce no Espírito Santo, despejando então o material na região marinha adjacente.

A partir do acidente houve uma preparação para que se pudesse avaliar e monitorar os impactos causados pelo aporte desta alta concentração de rejeito de mineração na região marinha. Este relatório aponta, compara e discute os resultados obtidos em duas campanhas distintas, separadas por um período de quase 60 dias. As primeiras coletas e análises foram realizadas por professores da Ufes antes e durante a chegada da lama de rejeitos. Estas coletas continuaram com o apoio do NOc Vital de Oliveira que coletou as primeiras amostras na região mais offshore da foz do Rio Doce. Esta primeira análise reflete o momento mais agudo do desastre onde uma alta concentração de material em suspensão aporta a região costeira e marinha. Cerca de 60 dias depois, a expedição com o Navio Soloncy Moura já produz um resultado que pode-se dizer estar associado ao início de uma fase mais crônica, onde os picos de aporte já diminuíram, porém os processos oceanográficos continuam atuando e se ajustando a uma nova realidade.

A primeira análise que se deve considerar é a condição hidrológica entre os dois momentos. Dados disponibilizados e apresentados pela Golder Associates (empresa contratada pela mineradora, Fig. 4) mostram as condições hidrológicas do rio no momento da chegada aguda da lama de rejeito e o momento em janeiro, após um período de chuvas à montante da bacia. É muito importante notar que a chegada de alta concentração de material particulado em suspensão provocada pelo desastre está associada a um período de baixíssima vazão do Rio Doce na sua foz. É importante ressaltar que neste momento a principal desembocadura, chamada de barra sul, estava fechada já há alguns meses em função do forte período de estiagem do rio. Esta condição, associada ao volume de material disponibilizado no desastre cria uma situação totalmente atípica no aporte de material na região marinha. No segundo momento de amostragem, realizado a partir do dia 27 de janeiro, observa-se no gráfico

que a chuva na cabeceira provocou um aumento significativo no nível do rio, seguido de um aumento considerável da vazão. Sendo assim, as amostragens nestes dois períodos refletem condições hidrológicas bem distintas.

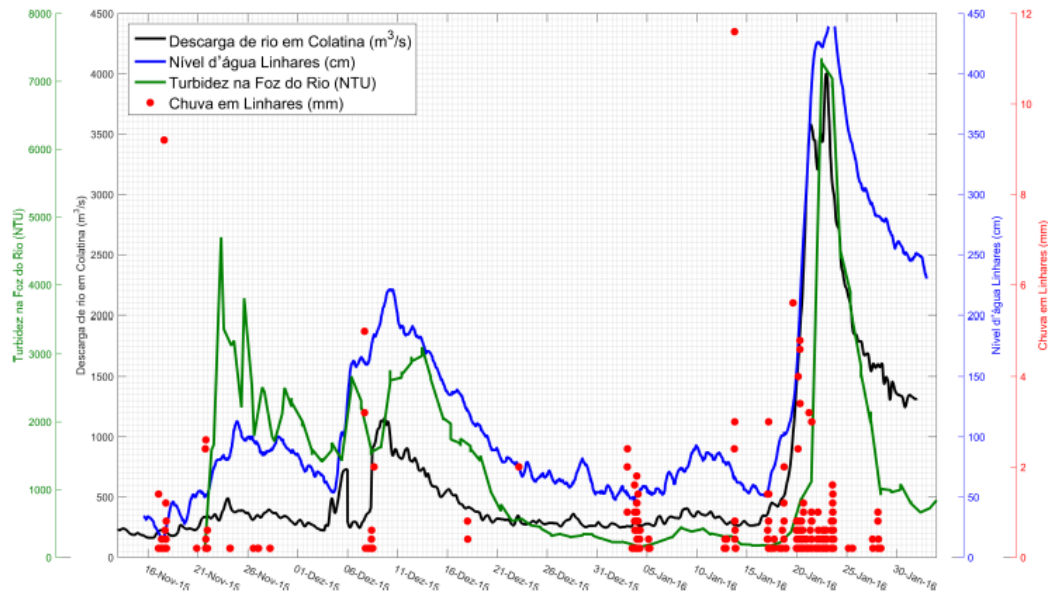


Figura 4. Gráfico retirado do Relatório Rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão- Plano de Recuperação Ambiental, Golder Associates, 2016.

Em termos das condições oceanográficas os resultados mostram a presença de uma ressurgência costeira durante as duas expedições realizadas. Esta ressurgência foi observada tanto nos dados de CTD quanto nas imagens de temperatura mostrando uma feição de água mais fria junto à costa se estendendo até, ou ao norte, da foz do Rio Doce. Um outro aspecto importante para a dinâmica de dispersão da pluma e transporte de sedimento é que durante os meses de novembro e dezembro, sistemas frontais (frentes frias) avançaram pela costa, alterando padrão meteorológico para a região impactada, o que não seria o padrão para o período do ano. Os períodos de frente fria e ventos de N-NE acabaram influenciando diretamente o padrão de dispersão da pluma. Isso é claramente observado nas duas imagens MODIS da figura 5. Observa-se que no dia 27/11/15, ainda sobre o final de influência de um sistema frontal, a pluma está direcionada para o norte, enquanto no dia seguinte, 28/11/15, a pluma já está sobre influência de ventos de nordeste, e já deslocada para sul. Embora esta dinâmica pareça óbvia, a importância deste conhecimento é função do período de coleta. O

entendimento de como a pluma variou e o controle por imagens de satélite são fundamentais para entender e explicar os resultados obtidos a partir das coletas *in situ*.

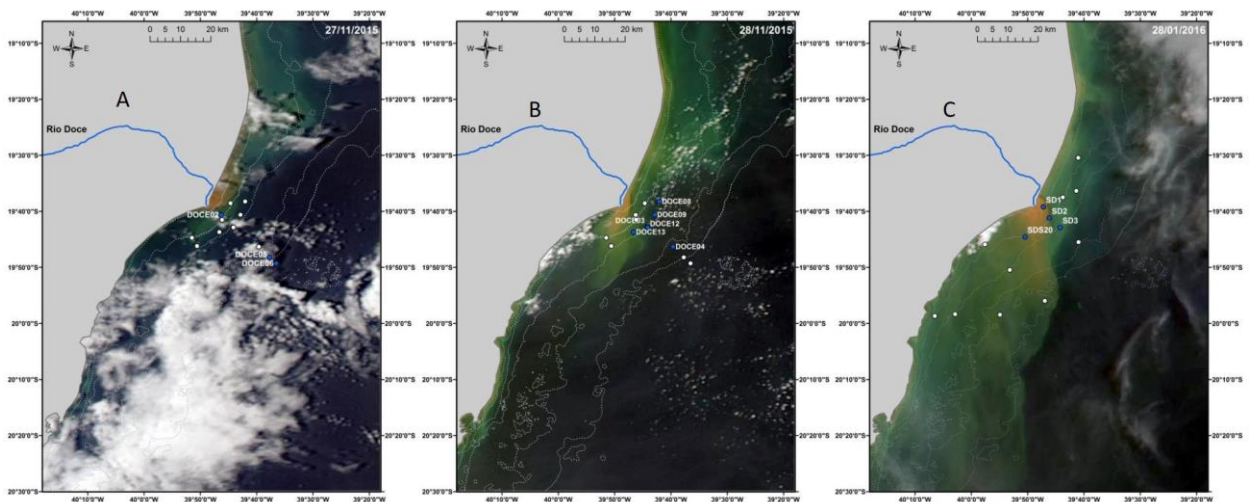


Figura 5. Imagens MODIS/Aqua do dia 27 de novembro (A), 28 de novembro (B) e 28 de janeiro 2016 (C). A e B foram coletadas realizadas no NOC Vital de Oliveira e C no Soloncy Moura. Observar a mudança no padrão da pluma e a área de influência.

A relação entre as condições hidrológicas e meteoceanográficas acabam por controlar os processos naturais de aporte e dispersão de material particulado e dissolvido nos oceanos. Entretanto, o que estamos avaliando é um evento antrópico, que por mais que a Mineradora aponte para o fato de que na barragem o material de rejeito estaria quimicamente inerte, o rompimento seguido do deslocamento de um grande volume de material ao longo da calha do rio causa um impacto físico que se desdobrou em impactos na biodiversidade e na comunidade de uma forma geral, sem falar em possíveis alterações geoquímicas e resuspensão de material que estava no leito.

As alterações causadas pelo deslocamento da lama de rejeito foram observadas a partir do estudo das concentrações de material particulado em suspensão (MPS), e do acúmulo de material no fundo marinho.

De forma geral, o comportamento observado durante a expedição do NOC Vital de Oliveira continua se mantendo, mas com uma grande alteração em termos de valores de MPS e distribuição granulométrica. A granulometria do sedimento se altera em

direção offshore com aumento dos teores de cascalho e areia e em sentido sul ocorre um maior afinamento da granulometria com domínio de silte e argila, principalmente em regiões mais rasas.

A grande diferença entre essas duas expedições está na concentração de MPS (Fig. 6). Podemos considerar que durante a expedição do NOc Vital de Oliveira tínhamos uma situação crítica e aguda, uma vez que a expedição foi realizada imediatamente após a chegada da “onda” de rejeitos na plataforma continental do Espírito Santo. Após esse momento agudo, o que se observou é uma diminuição na concentração do MPS mais um aparente aumento de material fino junto ao fundo, formando depósitos sedimentares com características diferenciadas de registros pretéritos. Outro ponto a destacar é que o rio também passava por uma condição hidrológica diferente entre as duas expedições. Em Novembro/dezembro (27/11 a 02/12) período de expedição do NOc Vital de Oliveira a bacia hidrográfica passava por um período de seca histórica e durante o levantamento do Soloncy Moura a bacia já recebia chuvas intensas. Então precisamos também manter em mente essa diferenciação. Durante o período de chuvas o material aportado provavelmente estaria mais diluído do que durante a expedição do Vital de Oliveira.

Assim pode-se concluir que a plataforma em questão continua em processo de busca de equilíbrio em função do que ocorreu e do que continua ocorrendo (aporte de rejeito). Isso se dá devido as características do material que é muito mais fino do que o material que originalmente aportaria a região, mesmo em momentos de cheia do rio. A observação principal é justamente o afinamento da granulometria do depósito de fundo, baseado em estudos pretéritos (Quaresma et al., 2015). O material mais fino, dependendo das condições físicas locais, pode continuar sendo resuspenso e disponibilizado na coluna d'água durante muito tempo. Além disso, pode estar alterando as características dos habitats da região em questão, podendo levar a soterramento de organismos ou mesmo afastamento dos mesmos, o que causará um grande impacto do ponto de vista ecológico nas regiões atingidas ou influenciadas pelo aporte do rejeito. Não podemos deixar de destacar ainda que a região da foz do Rio Doce é uma área de pesqueiro de camarão e que sofre arrasto durante as épocas de

pesca. Assim esse material poderá continuar sendo levado para a coluna d'água e redistribuído na plataforma pelas correntes.

Uma outra grande preocupação com o afinamento da granulometria está no fato de que os poluentes de uma forma geral se associam a granulometria de silte a argila, devido as características de ligações químicas que essas partículas propiciam. Um destaque importante para o resultado das coletas na expedição Soloncy Moura foi a granulometria observada em amostras na APA Costa das Algas. A coloração do sedimento aliado a distribuição tendendo ao aumento de material fino (argila) pode estar indicando que o material aportado no Rio Doce em decorrência do desastre já tenha alcançado a região entre 10 e 30m na APA. Assim, vemos esse afinamento com grande preocupação e com poucas chances práticas de ser revertidas.

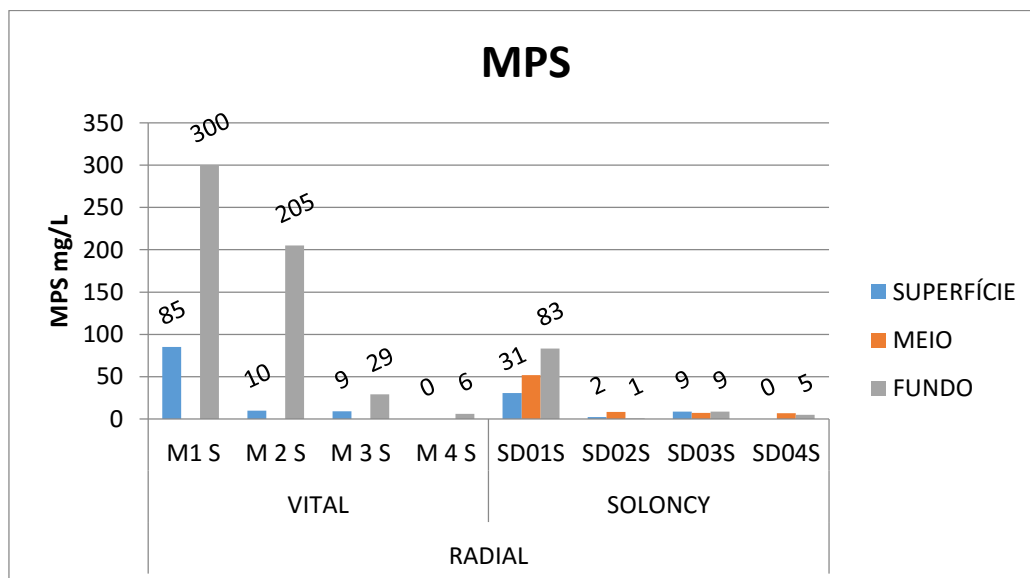


Figura 6. Gráfico comparando os valores de concentração de MPS nas duas expedições realizadas. As estações podem ser checadas nas figuras 1 e 3, e representam uma radial perpendicular à costa entre 10 (1) e 40m(4) de profundidade.

O impacto da lama de rejeito é também medido a partir da composição geoquímica e a eventual alteração nos níveis de nutrientes. No caso específico dos estudos desenvolvidos pela UFES, o monitoramento geoquímico na foz do rio antes e durante a chegada da lama no mar permitiu avaliarmos diretamente quais os metais tiveram um aumento efetivos com a chega do material. Os resultados obtidos até o presente

momento indicam que elementos como Fe, Al, Mn, Cr, Pb, Cu e V apresentaram aumento de suas concentrações na região estuarina da foz do Rio Doce com a passagem da lama de rejeitos de mineração. Devido à presença e a quantidade deste material no Rio Doce, bem como seu desague no Oceano Atlântico, as concentrações destes elementos em especial, seja na fração total ou dissolvida, tanto na região estuarina como na marinha adjacente foram alteradas. Ao analisar concentrações de metais na foz de um rio não podemos inferir que tais valores são resultados de um único processo atuante, e sim, são resultados do sinergismo de diferentes alterações presentes na bacia hidrográfica.

Entretanto, o despejo de rejeitos de mineração no Rio Doce pode ter alterado processos físico-químicos, como sorção e desorção, que regulam a mobilidade de metais em ambientes aquáticos, sendo estes peculiares a cada elemento analisado. Notamos que houve, na maioria dos casos, uma diminuição da concentração entre a primeira e a segunda campanha na região marinha. Este resultado já era esperado devido à precipitação do material provindo do Rio Doce, bem como a capacidade de diluição e dispersão na região costeira. A recuperação da qualidade físico-química da água pode ser um processo rápido, mas a recuperação do ecossistema como um todo é um processo muito mais lento (Prat *et al.*, 1999). Gradientes de concentração, aumento das concentrações em sedimentos superficiais e possíveis alterações sazonais destas concentrações na coluna d'água são resultados esperados neste tipo acidente ambiental (Olías *et al.*, 2005), em que diversos processos atuam favorecendo o aumento ou diminuição das concentrações de metais.

Por exemplo, chumbo e zinco apresentaram aumento em suas concentrações na segunda campanha, podendo ser ocasionado pelo contínuo aporte destes metais ou mesmo por partição entre fases particulada e dissolvida. Outra observação relevante que os resultados até o momento indicam é o acúmulo de metais em determinadas regiões da área investigada, como as isóbatas de 13m e 20m tanto a Sul quanto a Norte da foz do Rio Doce, provavelmente relacionado à dinâmica costeira.

A análise de nutrientes mostra que comparando os resultados médios observados nas campanhas realizadas pelo Vital de Oliveira e Soloncy Moura, o nitrito não apresentou mudança considerável em sua concentração. No que tange aos níveis de nitrato, nota-

se um considerável aumento da concentração desse nutriente na porção sul da desembocadura do rio Doce. Já em relação ao fosfato, nitrogênio amoniacal e silício, observa-se um relativo decréscimo em suas concentrações. Ao avaliarmos pontualmente as concentrações dos nutrientes encontrados no rio Doce e plataforma continental adjacente em todas as campanhas, nota-se que níveis de nitrito estão abaixo do que a legislação Brasileira (CONAMA 357/2005) estabelece como limites para águas doces e águas salinas.

A resolução CONAMA 357 não estabelece valores para fosfato, apenas para fósforo total, bem como valores para silício, não sendo possível a comparação com os valores encontrados neste estudo. Contudo, as concentrações desses nutrientes e demais serão expressas nas mesmas unidades para a similar avaliação. As concentrações dos nutrientes no rio Doce e plataforma continental em todas as campanhas variaram nas seguintes concentrações: 0,002 – 0,026 mg/L de fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>); <LD – 0,019 mg/L de nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>); <LD – 9,190 mg/L de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), <LD – 0,163 mg/L de nitrogênio amoniacal (NH<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); e 0,026 – 10,528 mg/L de silício reativo dissolvido (SiO<sub>2</sub>).

Nessa comparação, observa-se que o nitrato analisado, especialmente na campanha do Soloncy Moura nos pontos SDS 30, CA02, CA 03 e CA 04 e ainda na foz (SD 01), se encontra em níveis muito acima do estabelecido pela CONAMA 357/05 para águas salinas em todas as classes, o que pode ocasionar em mudanças graves no equilíbrio ecológico da região.

O impacto potencial da chegada da lama de rejeitos no ambiente marinho na biota pode ser inicialmente avaliado pela análise de alterações da base da cadeia trófica. Até o momento, esta análise vem sendo feita nas comunidades fito e zooplanctônicas.

A figura 7 mostra a comparação entre os valores de clorofila a e feopigmentos registrados no Cruzeiro Oceanográfico Soloncy Moura com os valores registrados anteriormente, no Cruzeiro Oceanográfico Vital de Oliveira. Os valores tenderam a diminuir, já que anteriormente foram bem elevados, ficando acima de 2,0 µg/L e com teores de feofitina chegando a mais de 9,0 µg/L. Desta vez quase todos os valores, tanto de clorofila a como de feopigmentos ficaram abaixo de 2,0 µg/L, ocorrendo um único



caso da amostra de superfície de um ponto localizado ao sul do Rio Doce (SDS20) mostrar um valor superior a 4,0 µg/L. Entretanto ainda continuam ocorrendo teores de feopigmentos acima dos de clorofila *a*, como já tinha sido observado anteriormente. Apesar da escala de valores de feopigmentos ter sido reduzida em comparação com a campanha anterior, o fato de em vários casos este feopigmento serem superiores a clorofila *a* mostra que a comunidade fitoplanctônica continua tendo um grau elevado de senescência e ainda parece estar sofrendo os efeitos do impacto ambiental.

Os resultados mostram que a comunidade fitoplanctônica continua sofrendo grandes variações em períodos relativamente curtos, mas o Cruzeiro Oceanográfico Soloncy Moura parece mostrar condições um pouco melhores da comunidade fitoplanctônica do que no período imediatamente posterior ao impacto. Entretanto os efeitos reais sobre a composição quali-quantitativa do fitoplâncton só poderão ser evidenciados quanto estas análises, que são bem mais demoradas, forem finalizadas. Na expedição do NOc Vital de Oliveira a análise quali-quantitativa indicou uma diminuição drástica do número de táxons na comunidade fitoplanctônica quando comparado com trabalhos pretéritos.

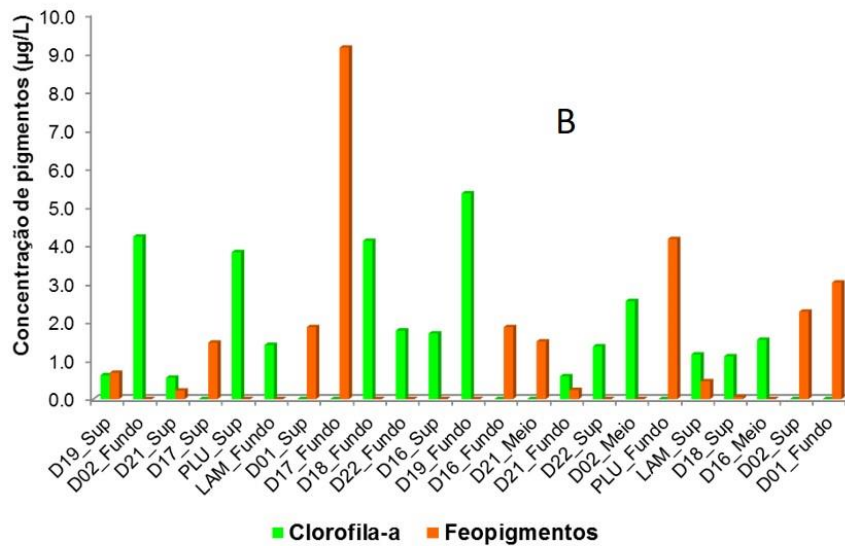
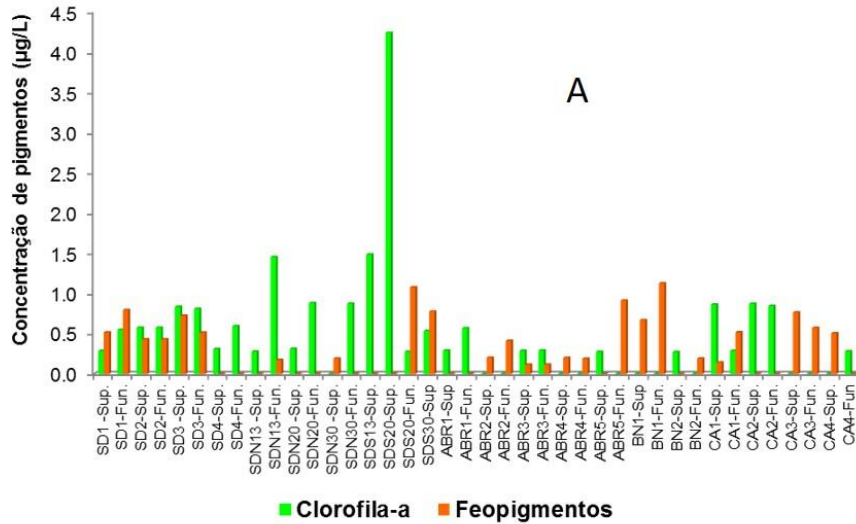


Figura 7. Comparação entre os resultados de clorofila a e feopigmentos entre a expedição Soloncy Moura (A) e Vital de Oliveira (B). Notar a diferença de escala vertical.

Em termos da comunidade zooplanctônica, a expedição de novembro/dezembro de 2015 mostra valores muito elevados de números de indivíduos, principalmente na estação mais costeira. Este elevado número de indivíduos por  $m^3$  estaria ainda associado a uma diminuição no número de táxons (34) observados, sendo que cerca de 80% dos indivíduos estaria relacionado a duas espécies. A expedição Soloncy Moura, em janeiro, já aponta para uma diminuição no número de indivíduos por  $m^3$  e um ligeiro aumento no número de táxons (52) (Fig. 8).

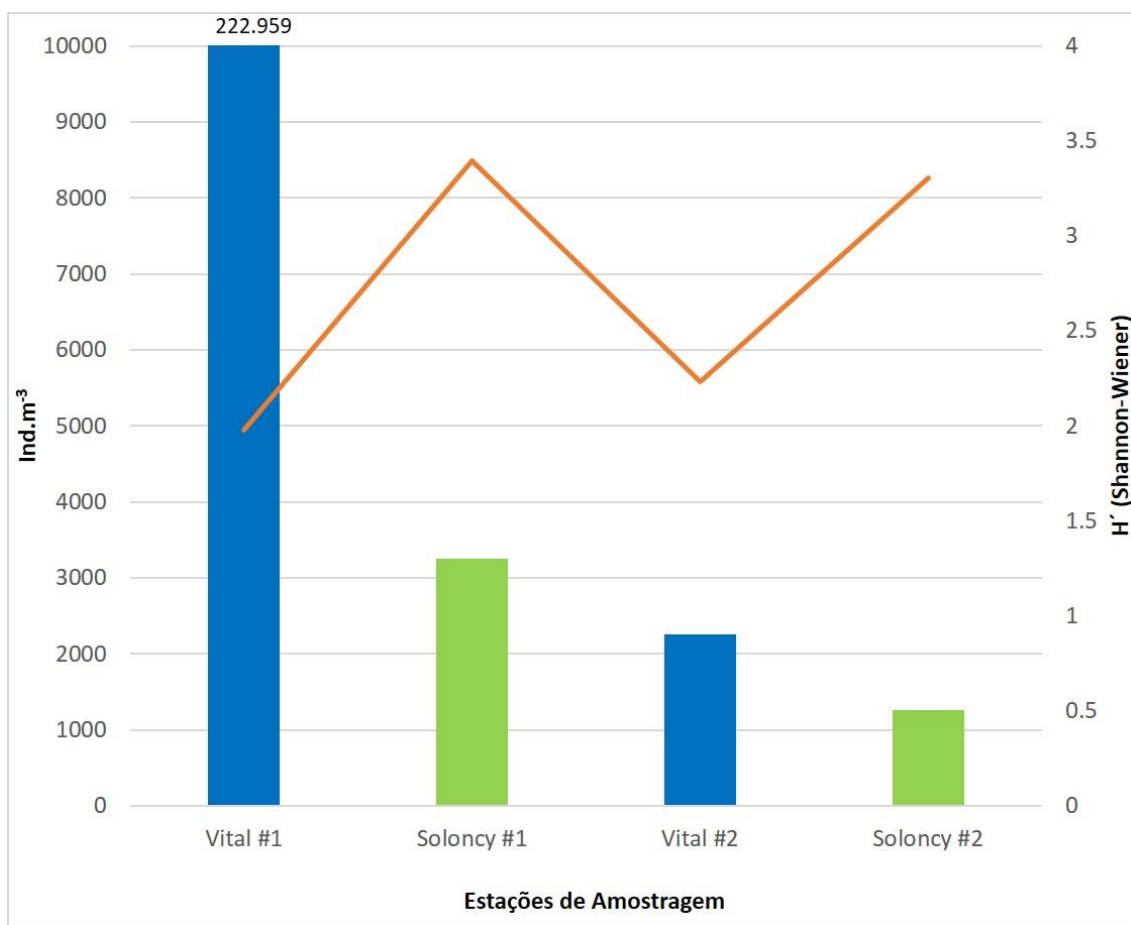


Figura 8. Gráfico mostrando a alteração no número de indivíduos (Zoo) por m<sup>3</sup> em duas estações amostradas na frente da foz do Rio Doce.

Quando comparados com estudos anteriores, alguns valores altos de abundância de determinados organismos são observados, bem como alterações na estrutura da comunidade zooplanctônica (PETROBRAS, 2015). Estas variações não estão correlacionadas com variações sazonais visto que o estudo supra citado fez coletas durante os períodos de inverno e verão, coincidindo com a estação do ano caracterizada neste estudo.

Estes altos valores de abundância e dominância indicam que certos organismos apresentam maior resistência a impactos ou alterações no meio, bem como a presença de alimento. Apesar disto, estas espécies *per se* não conseguem manter a diversidade

biológica na região nem o sucesso da cadeia alimentar, privilegiando apenas espécies que sejam adaptáveis a variação do alimento.

Impactos futuros na cadeia alimentar, bem como na estrutura populacional, precisam ser melhor avaliados em monitoramentos contínuos da comunidade zooplanctônica para que se possa verificar o sucesso ou o declínio das populações locais.

#### **CONSIDERAÇÕES SOBRE O IMPACTO DA LAMA DE REJEITOS NO MAR**

Os dados descritos de forma mais detalhada se encontram nos relatórios em anexo. Até o momento a consideração que será feita neste relatório será apenas para a área adjacente à Foz do Rio Doce e APA Costa das Algas. Os resultados para a região de Abrolhos ainda não estão completos. Os dados referentes a sedimentologia não indicam de forma clara e inequívoca qualquer deposição de material terrígeno do Rio Doce, porém esta análise não foi integrada com dados mineralógicos e de assinatura geoquímica (em andamento).

Os resultados evidenciam que existe um aporte de material em suspensão com índices de metais elevados que são efetivamente oriundos da lama que se deslocou até a foz do Rio Doce. Os metais que apresentaram estes valores elevados foram Fe, Al, Cr, Cu, Pb e Mn. A análise da concentração de MPS mostrou claramente o profundo impacto causado pela lama na região da foz. Valores medidos antes da expedição Vital de Oliveira (dias 22 e 24/11) mostraram concentrações acima de 1g/L na foz. As primeiras análises sedimentológicas evidenciaram uma tendência forte de afinamento da granulometria com o aumento da fração argila. Observou-se ainda que após 5 dias do aporte da lama, já havia material acumulado no fundo até cerca de 20m de profundidade. Como foi descrito acima, os processos meteoceanográficos impuseram um padrão bastante dinâmico na variabilidade espaço-temporal da pluma. Os resultados de ambas as expedições mostram que além de uma pluma observável na superfície, havia um material que se deslocou próximo ao fundo. A ocorrência desta pluma foi registrada na concentração de MPS coletada até cerca de 30m de profundidade na área adjacente à foz do Rio Doce.

A extensão do aporte sedimentar está sendo avaliada pela deposição de lama terrígena do fundo marinho. Até o momento observou-se de forma clara esta tendência de afinamento da granulometria, aumentando os teores de argila. Isso já foi observado nas estações da região da foz do Rio Doce e nas estações CA1 e CA2 da APA. A extensão deste material em direção norte ainda não é possível avaliar. Não há evidências claras talvez em função do padrão amostral. As amostras coletadas em Barra Nova estavam a profundidades de no mínimo 20m, enquanto os mapas de dispersão da pluma definidos por satélite ou sobrevoo mostram que em direção norte, a pluma se concentra mais junto a costa.

A análise de concentração do MPS na expedição Soloncy Moura mostrou uma clara tendência de dispersão em direção sul, sendo observados valores de concentração muito próximos das estações mais próximas da foz do rio Doce. Casando esta análise com imagens de satélite é possível interpretar que com a predominância de vento nordeste e o aporte de material mais fino, a pluma esteja se estendendo até a foz do Rio Piraquê Açu.

Ainda em termos de concentração de MPS, fica claro que temporalmente, passado o período agudo do aporte de lama de rejeito, as concentrações diminuíram mas ainda estariam com valores elevados e próximos do que foi medido pela Ufes na cheia histórica de 2013. Isso significa que o aporte induzido de forma antrópica ainda estaria afetando a região.

O impacto no ecossistema está sendo avaliado até o momento a partir da análise da base da cadeia trófica. O impacto nas comunidades fito e zooplanctônicas é bem definido, principalmente nas campanhas realizadas em novembro de dezembro de 2015. Fica evidente os elevados níveis de clorofila a e feopigmentos e intensa variabilidade diária destes parâmetros. A primeira análise qualitativa indica uma drástica diminuição no número de táxons, especificando desta forma a dieta alimentar nesta área. O mesmo foi observado para o zooplâncton. As análises realizadas em novembro indicaram um boom de organismos nas estações até 20m de profundidade. É possível que este impacto esteja relacionado diretamente com o aumento de metais na água provocado pelo aporte do material de rejeito. Observou-se claramente um aumento das concentrações, por exemplo, de Fe que é um limitante para a produção de algumas

espécies de fitoplâncton. O que ainda não é possível definir é o quanto este impacto se estendeu espacialmente, uma vez que as análises de sobrevoo indicam grandes extensões de dispersão da pluma, mas na verdade podem ser florações de fitoplâncton. Por exemplo, os menores valores de clorofila *a* e feopigmentos durante a expedição Soloncy Moura foram observados em Abrolhos, em águas teoricamente mais oligotróficas.

Em síntese, o que se observou até o momento, considerando os dados já processados para coletas em dois momentos, é a certeza de que a pluma causou um impacto imediato na região adjacente à foz do Rio Doce, com pelo menos 25km para o sul e norte e até a isóbata de 30m em direção offshore. Passado o primeiro momento agudo, observou-se que o potencial de impacto em direção sul é real, atingindo até a foz do Piraque Açu. Este impacto potencial é possivelmente em função da consistência de ventos de nordeste e do aumento da vazão do rio em janeiro. A ocorrência isolada do possível alcance da pluma em Abrolhos é ainda alvo de análise, porém a conjugação de sistemas de frente fria com aumento de vazão do rio indica que é possível que haja momentos ou processos capazes de transportar mais material em direção norte. Esses processos carecem de melhor entendimento e outras amostragens poderão indicar se está havendo acúmulo de sedimento da lama de rejeito em direção norte.

Considerando estas duas expedições, fica claro que após o impacto agudo, mais precisamente 60 dias depois, observou-se uma diminuição dos valores de concentração de MPS na pluma, diminuição dos valores de clorofila *a* e feopigmentos e uma potencial recuperação no nível de táxons de fito e zooplâncton. Pode-se dizer ainda que as concentrações de metais totais na água também tenderam a diminuir. Entretanto é importante ressaltar que aparentemente houve e está ocorrendo uma rápida sedimentação deste material no fundo, com a tendência de aumento dos teores de argila e de concentração de metais. Além disso, no que tange a comunidade planctônica, é crucial que seja feito um monitoramento para que entenda como a mesma está se comportando ao longo do tempo, se vai responder a variações sazonais, se efetivamente foi impactada de forma crônica ou se já se vai se recuperar totalmente. Até o momento pode-se dizer que a base da cadeia trófica foi alterada e continua alterada.

É muito importante ressaltar que após o momento agudo e de grande impacto, o sistema tende a se equilibrar dentro de uma nova realidade. O impacto visual da coloração do rio e da pluma no mar está diminuindo, mas isso só significa que o material que estava em suspensão, depositou e está acumulando no fundo. Passaremos então a avaliar o impacto na comunidade bentônica também.

No caso específico da UFES, ainda existe um passivo de amostras realizadas no início de fevereiro, no final de fevereiro e agora em abril. A análise destas variações temporais será de imensa valia para entender como o sistema está se comportando de forma integrada, considerando ainda as mudanças nas condições meteoceanográficas e de vazão do rio.

## 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.

Prat, N., Toja, J., Sola, C., Burgos, M.D., Plans, M., Rieradevall, M., 1999. Effect of dumping and cleaning activities on the aquatic ecosystems of the Guadiamar River following a toxic flood. *Sci. Total Environ.* 242, 231–248.

Olias, M., Cero, J.C., Moral, F. & Ruiz, F. 2006. Water quality of the Guadiamar River after the Aznalcóllar spill (SW Spain). *Chemosphere* 62(3): 213-225.

PETROBRAS, 2015: Relatório Final do Projeto de Caracterização Ambiental Regional da Bacia do Espírito Santo e Parte Norte da Bacia de Campos (PCR-ES/AMBES). Anexo II.2.2-6 – Estrutura da Comunidade Zooplânctônica: Descritores espaciais e temporais.