



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS
NATURAIS RENOVÁVEIS- IBAMA**

**PARECER TÉCNICO SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS NAS COLETAS DE
AMOSTRAS DE ÁGUA E SEDIMENTO NO RIO DOCE E NA REGIÃO DA
FOZ, NO ESTADO DO ESPIRITO SANTO.**

1.0 INTRODUÇÃO

A CGEMA – Coordenação Geral de Emergências Ambientais em atendimento à demanda da SUPES/ES, no período de 07/03/16 a 13/03/16, designou servidores para compor Força Tarefa, com objetivo de emitir parecer sobre os relatórios das análises de amostras de água e sedimento coletadas no rio Doce no Estado do Espírito Santo e na Foz do Rio Doce, próximo do município de Linhares/ES.

A equipe signatária deste parecer foi composta pelas Analistas Ambientais do IBAMA: Ana Paula Pinto Fernandez (CGPEG/RJ), Maria Dulce Chicayban Monteiro de Castro (CGPEG/RJ) e Cinthia Masumoto (SUPES/SP).

2.0 ATENDIMENTO ÀS NOTIFICAÇÕES n° 678324/E E n° 678307/E

Em 01/12/15 a empresa SAMARCO MINERAÇÃO S/A foi notificada pela SUPES/ES (n°. 678324/E – processo 02009.001473/2015-64) a “*Apresentar o plano de monitoramento e os resultados das coletas e análises de água do Rio Doce realizadas em atendimento à Decisão Judicial referente ao Processo n°. 0132998-35.2015.4.02.5004 (2015.50.4.132998-2). Obs. 1) Os resultados dos parâmetros com medições in situ de coletas já realizadas devem ser apresentados no prazo de 3 dias. 2) Os resultados dos parâmetros com medições in situ futuros devem ser apresentados no máximo 48 horas após a medição. 3) Os resultados das amostras analisadas em laboratório devem ser apresentados no máximo 48 horas após a entrega do laudo pelo laboratório.*” Foi concedido o prazo de três dias para o pleno atendimento.

No dia 04/12/15 a empresa enviou e-mail para o Superintendente do IBAMA/ES informando que os documentos requeridos na notificação n° 678324/E estão disponibilizados na internet, no endereço: <http://drive.google.com/folderview?id=0B6-NiKKPe5oYbm1fX2NiaEZSUjQ&usp=sharing> (imagem 1). No dia 07/12/15 a empresa protocolizou documento (RSPS 02009.004544/2015-81) no IBAMA/ES com o mesmo

teor do e-mail enviado previamente. Neste endereço eletrônico foram disponibilizados: o plano de monitoramento do rio Doce, laudos laboratoriais de água e sedimento coletados no rio Doce, em Baixo Guandu, Colatina e Linhares. Não há uma sistemática clara e objetiva para a apresentação dos dados. Desta forma, a empresa em 01/12/15 divulgou por e-mail o Portal eletrônico de informações: <ftp://ftp.samarco.com.br/evidenciasmeioambiente> (imagem 2). Neste portal são disponibilizados laudos e relatórios, como coleta e resgate de fauna aquática e fauna terrestre, monitoramento da pluma no mar, monitoramento hídrico (de água doce, água marinha, balneabilidade e ecotoxicidade), medições in situ e outras, organizadas pelo tema a que se referem.

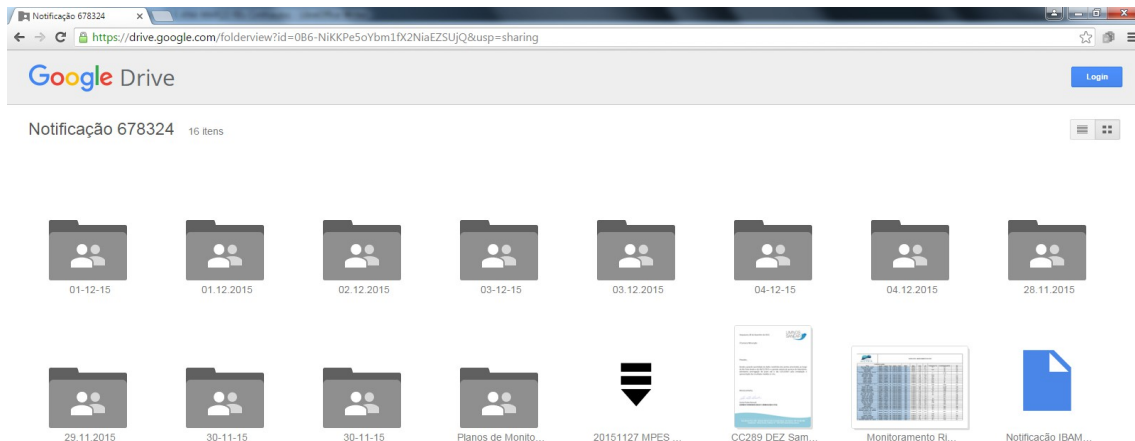


Imagem 1: Disponibilização dos dados de monitoramento pela internet

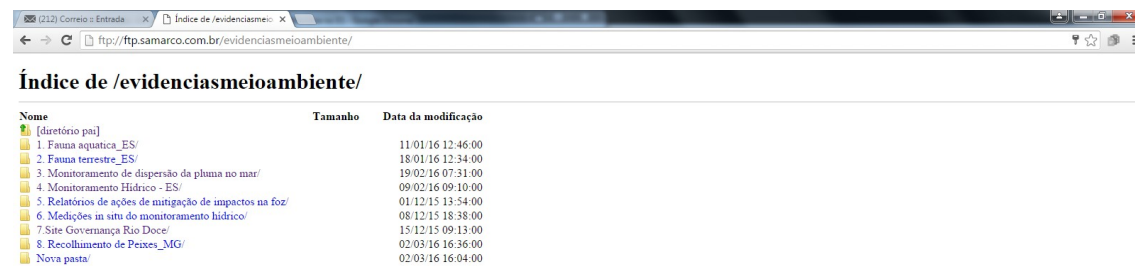


Imagem 2: Melhoria na disponibilização dos dados de monitoramento pela internet

Em 01/12/2015, a SUPES/ES lavrou a notificação nº678307/E (Processo 02009.001480/2015-66) para a empresa SAMARCO MINERAÇÃO S/A “*Apresentar os resultados das coletas e análises da água do mar realizadas em atendimento a Decisão Judicial referente ao Processo nº. 0132998-35.2015.4.02.5004 (2015.50.4.132998-2). Obs. 1) Plano de monitoramento recebido em 30/11/2015. 2) Os resultados dos parâmetros com medições in situ de coletas já realizadas devem ser apresentados no prazo de 3 dias. 3) Os resultados dos parâmetros com medições in situ futuros devem ser apresentados no máximo 48 horas após a medição. 4) Os resultados das amostras analisadas em laboratório devem ser apresentados no máximo 48 horas após a entrega do laudo pelo laboratório.*” Foi concedido o prazo de cinco dias para o pleno atendimento.

No dia 07/12/15 a empresa protocolizou o documento RSPS 02009.004543/2015-36 no IBAMA/ES, contendo um CD com os dados compilados referente ao monitoramento marinho in situ de 22/11/15 a 04/12/15, para os parâmetros pH, OD, temperatura, condutividade e turbidez, nas cinco seções amostrais. As demais informações requeridas na notificação constam no Portal eletrônico citado anteriormente.

Considerando a enorme quantidade de informações geradas para atendimento à Decisão Judicial, não foi possível averiguar se todos os dados disponibilizados no Portal atendem a tal decisão quanto: a quantidade de amostras a serem coletadas, as profundidades de coleta, as diversas estações de coleta e os diversos parâmetros. Infere-se sobre a não disponibilização dos dados pela empresa, ou devido a enorme quantidade de informações, não foram identificados todos os arquivos. Seguem anexo as listagens dos laudos analíticos disponibilizadas no Portal eletrônico, onde encontram-se mais de 6.700 laudos da água marinha e 6.700 laudos da água do rio Doce, referentes às coletas realizadas entre novembro/2015 a fevereiro/2016.

Quanto aos prazos estipulados nas notificações para apresentação dos resultados das coletas e análises laboratoriais de água, de forma geral a empresa não atendeu o exigido nas notificações. A partir da data de emissão dos laudos, a empresa levou cerca de uma semana até um mês para disponibilizar os dados no Portal, salvo exceções.

O presente parecer apresenta a análise técnica dos resultados de mensuração de parâmetros de qualidade de água disponibilizados pela empresa, objeto das notificações nº 678324/E e 678307/E, dados analíticos de parâmetros de qualidade do sedimento, assim como uma análise crítica da aplicabilidade do monitoramento ambiental exigido pela Justiça Federal no âmbito do Processo nº0132998-35.2015.4.02.5004 (2015.50.04.132998-2).

Ressalva-se que em 22/01/2016 a partir de tratativas com o Ministério Público Federal que levaram a suspensão do feito, objeto do Termo de Compromisso Socioambiental firmado com a empresa Samarco, o escopo do monitoramento ambiental foi alterado. A nova proposta de monitoramento ambiental marinho foi elaborada pela Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, em parceria com o IBAMA, ICMBio e IEMA, e deverá ser desenvolvida pela empresa Samarco.

3.0 ANÁLISE

3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica apresentada não objetiva esgotar todos os conceitos importantes para um melhor entendimento dos parâmetros amostrados. Em decorrência do pouco tempo disponível e muitos assuntos a serem abordados somente uma pequena parte foi apresentada. Este conteúdo deve ser complementado em futuros pareceres.

3.1.1 – Importância dos Estuários

Estuários são locais onde os rios desembocam no mar, havendo encontro de água doce e água salgada. A partir disso, forma-se um tipo único de ecossistema, altamente sensível, e sujeito a flutuações de marés, salinidade, temperatura e diversos outros fatores. Muitas espécies necessitam dos ciclos que ocorrem nos estuários para sua sobrevivência. A elevada taxa de conversão de luz solar em biomassa, de cerca de vinte e cinco vezes a taxa observada em mar aberto, demonstra a importância deste ecossistema na manutenção da biodiversidade (RIDD e STIEGLITZ, 2002; EPA, 2006).

A influência e significância dos processos biológicos e físico-químicos que acontecem em um estuário não se restringem ao local onde eles ocorrem. Estes ecossistemas de alta biodiversidade influenciam todos os outros ecossistemas do entorno, tanto os rios aos quais estão conectados, quanto os ecossistemas terrestres e costeiros, e as comunidades associadas. (TWILLEY et al. 1996).

Os estuários atraem inúmeras pessoas devido a sua beleza paisagística e a presença de recursos naturais. Estes mesmos atrativos fazem com que os estuários estejam em constante risco. O aporte de efluentes industriais e domésticos podem acarretar eutrofização, assoreamento excessivo e poluição por resíduos sólidos (plásticos e outros). Estes ecossistemas estão ainda estar expostos a intenso tráfego de embarcações, exploração não sustentável de recursos pesqueiros e introdução de espécies exóticas (MANN, 2000).

3.1.2 Turbidez e Material em Suspensão

A turbidez da água representa o grau de atenuação da luz na passagem através da amostra. As partículas que provocam turbidez na água possuem comprimento de onda maior do que a luz branca provocando espalhamento e absorção e são compostas por sólidos em suspensão (PIVELE e KATO, 2006). Os sólidos podem ter origem natural (partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microorganismos) ou antropogênica (despejos domésticos, industriais, mineração, erosão e outros). Nos corpos de água naturais a atenuação da luz provocada pelos sólidos em suspensão prejudica os processos fotossintéticos, alterando o equilíbrio do ecossistema.

A Resolução CONAMA 357/2005, modificada pela Resolução 410/2009 e 430/2011 impõe limites de turbidez de 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) para águas doces, classe 1 e de 100 UNT para a classe 2. Para águas salgadas ou salobras de classe

1 e 2 as substâncias que produzem odor e turbidez dever estar virtualmente ausentes. (BRASIL,2005).

Os sólidos em suspensão, ou material em suspensão ou sólidos suspensos é a porção de sólidos que fica retida em um filtro de diâmetro igual ou maior que $0,45\mu\text{m}$ (CHAPMAN, 1996). O material particulado é um parâmetro chave em qualidade de água, regulando os processos de adsorção e desorção. Esses processos dependem da quantidade de MES em contato com um volume de água, do tipo e característica do MES (e.g. orgânico ou inorgânico) e do tempo de contato entre a água e as partículas (CHAPMAN, 1996). A variabilidade temporal do material particulado e dissolvido contidos nos corpos de água resulta principalmente das interações entre as alterações hidrodinâmicas, solubilidade de minerais, e característica, natureza e intensidade da atividade biológica (CHAPMAN, 1996).

CARVALHO *et al.*, (2004) estudou as relações entre a concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez, em duas pequenas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, em Santa Maria RS, concluindo que é possível obter bons resultados para a correlação, mas a presença de maior percentagem de areia na composição do material em suspensão prejudica a sensibilidade do turbidímetro. Medidas de turbidez podem ser imediatamente obtidas “in situ”, ao contrário das medidas diretas de material em suspensão (MES) realizadas por análise gravimétrica em laboratório. Muitos autores têm utilizado medidas de turbidez aonde a amostragem é insuficiente, para definir um registro contínuo da quantidade de material em suspensão.

3.1.3 Potencial hidrogeniônico e Potencial Redox

O potencial hidrogeniônico, pH, representa a atividade de íons de hidrogênio H^+ (em escala antilogarítmica), resultante inicialmente da dissociação da molécula de água. O hidrogênio pode ainda ser proveniente de outras fontes naturais, como dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese ou ainda a partir de fontes artificiais como despejos domésticos e industriais (VON SPERLING, 2005).

A faixa de pH varia de 0 a 14 indicando condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade. A maior parte das águas naturais tendem a possuir pH próximos ao neutro. A variação normal do pH em águas naturais está entre 6 e 9, embora pequenos lagos e correntes em regiões com chuva ácida, ou poluídas por ácidos podem alcançar pH bem inferiores (RICKLEFS, 2003). O pH baixo no meio é potencialmente corrosivo, sendo responsável pelo desgaste de tubos e outros componentes das águas de abastecimento enquanto que o pH elevado possibilita as incrustações de animais. Ecossistemas aquáticos com elevados valores de pH são encontrados em regiões com balanço hídrico negativo (onde a precipitação é menor do que a evaporação) e em áreas em que os ecossistemas aquáticos continentais são, em diferentes graus de intensidade, influenciados pelo mar (recebem grandes contribuições dos carbonatos e bicarbonatos). Os valores de pH afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática, influenciando diretamente a sobrevivência de peixes e microorganismos.

O pH é influenciado pelos processos ambientais e também influência no equilíbrio e disponibilidade de compostos químicos e na fisiologia das diversas espécies. Este fator funciona como indicador de qualidade de água, podendo, quando básico, indicar grande

proliferação de algas e eutrofização do meio, ou, quando afastado da neutralidade, a presença de efluentes industriais. Valores altos normalmente contribuem para a precipitação de metais pesados (VON SPERLING, 2005).

A Resolução CONAMA 357/2005, modificada pela Resolução 410/2009 e 430/2011 restringe as faixas de pH entre 6,0 e 9,0 para todas as classes de água doce e entre 6,5 e 8,5 para todas as classes das águas salinas e salobras (BRASIL,2005).

As reações de oxidação-redução ou, “redox” possuem um papel fundamental em muitos processos que ocorrem em águas naturais ou em águas e etapas de tratamento de águas residuais. O potencial redox (Eh) caracteriza o estado de oxidação-redução em águas naturais. O oxigênio, ferro e enxofre, bem como alguns sistemas orgânicos são os que mais influenciam na determinação do Eh. O Eh, medido em mV, diminui (redução) com o consumo de oxigênio pelos microrganismos ou pela liberação de grupos sulfídricos pela ação do calor. O contrário (oxidação) ocorre com a presença de íons de cobre ou ferro. Quando as concentrações de oxigênio aumentam, os valores de Eh podem chegar a +700 mV, já a presença de sulfeto de hidrogênio geralmente está associada à diminuição brusca de Eh (abaixo de -100 mV ou menos), caracterizando condições de redução. Normalmente em águas naturais o Eh varia entre -500 e +700 mV. As águas de superfície e subterrâneas contendo oxigênio dissolvido são normalmente caracterizadas por valores entre +100 mV e +500 mV. O potencial redox é determinado potenciométricamente e deve ser medido “in situ” no campo (CHAPMAN, 1996).

3.1.4 Oxigênio dissolvido

O oxigênio é fundamental na distribuição da vida aquática, sendo de essencial importância para os organismos aeróbicos. A ocupação e diversidade das espécies presentes dependem da sua disponibilidade na água. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio. Na maior parte das vezes, a mortandade de organismos é causada pela deficiência de oxigênio utilizado na biodegradação de poluentes e não diretamente pela toxicidade destes. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, têm-se as condições anaeróbicas, com possível geração de maus odores. O fósforo e o nitrogênio neste contexto acentuam a problemática do processo de eutrofização.

A maior parte do oxigênio presente nas águas vem da atmosfera (21% dos gases), fazendo com que a reaeração da água em contato com a atmosfera represente uma importante fonte. O oxigênio também é produzido pela ação fotossintética das algas, mas esse processo não é considerado eficaz, uma vez que o oxigênio produzido durante o dia pode ser consumido a noite pelos processos metabólicos das algas e na decomposição de biomassa algácea morta, tornando o balanço por vezes desfavorável (RICKLEFS, 2003).

O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido a diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura. A solubilidade do oxigênio depende além da pressão parcial do gás na atmosfera, da altitude, da temperatura, e da salinidade da água. A solubilidade do oxigênio representa a concentração máxima em equilíbrio, que em água doce a 25°C é de 8,32 mgL⁻¹.

Quando ocorrem processos de consumo a concentração de oxigênio pode se aproximar rapidamente a zero, dependendo da eficiência dos processos de reaeração.

A Resolução CONAMA 357/2005, modificada pela Resolução 410/2009 e 430/2011 adota as seguintes concentrações de oxigênio dissolvido na classificação dos corpos de águas doces: classe 1, $\geq 6 \text{ mgL}^{-1}$, classe 2 $\geq 5 \text{ mgL}^{-1}$, classe 3 $\geq 4 \text{ mgL}^{-1}$ e classe 4 $\geq 4 \text{ mgL}^{-1}$, nos corpos de água salgada: classe 1, $\geq 6 \text{ mgL}^{-1}$, classe 2 $\geq 5 \text{ mgL}^{-1}$ e nos corpos de água salobra: classe 1, $\geq 5 \text{ mgL}^{-1}$, classe 2 $\geq 4 \text{ mgL}^{-1}$.

3.1.5 Metais

Os metais de forma geral podem estar presentes em diferentes espécies químicas de um mesmo elemento químico, o que se denomina especiação. A disponibilidade e toxicidade dos metais para os organismos é principalmente dependente da especiação e reatividade química destes. (MORSE, J.W.,1993).

A química e o comportamento de metais traços na coluna d'água é determinada pelas interações e reações de complexação destes metais com outros elementos e substâncias presentes. O monitoramento de traços de metais na água do mar, é de grande importância, uma vez que estes interagem direta ou indiretamente com a maior parte da fauna marinha, particularmente em estuários.

Amostras de água do mar apresentam-se como objetos de estudo complexo em relação à influência de metais, uma vez que a concentração dos mesmos é usualmente muito baixa, havendo necessidade de etapas de pré-concentração ou utilização de técnicas mais sensíveis. Além disso, há interferência da matriz salina no resultado.

Metais pesados (cromo, arsênio, alumínio, mercúrio, zinco, chumbo, cádmio, níquel e cobre, manganês), são reconhecidamente poluentes severos pois podem causar danos diversos aos organismos, desde interferências no metabolismo, doenças até efeitos mutagênicos e morte. Estes metais podem ficar disponíveis para serem assimilados pelos seres vivos através de processos químicos e biológicos, se associando a estruturas orgânicas complexas que podem ser metabolizadas e participar dos processos fisiológicos, gerando toxicidade para diferentes espécies. Os metais pesados estão presentes no sedimento, no material particulado em suspensão e na água. Materiais particulados em suspensão são importantes meios de transporte de metais pesados e substâncias orgânicas, que ficam a eles adsorvidos ou associados de alguma forma, participando assim da dinâmica de ecossistemas aquáticos (FÖRSTNER, U. ; WITTMANN, G. T. W, 1983, WASSERMAN, J.C.; WASSERMAN, M.A.,WASSERMAN, J.C. ET.AL.,1991).

Os estudos da mobilidade, biodisponibilidade e bioacumulação dos metais são importantes na caracterização dos riscos potenciais, em função da toxicidade destes elementos para o ecossistema, conforme tem sido demonstrado (WASSERMAN, J.C.; WASSERMAN, M.A.). A identificação das espécies químicas, sua mobilidade e quantificação da sua distribuição requerem técnicas analíticas específicas. Muitos estudos são realizados utilizando técnicas de extração sequencial de metais, como o método BCR. (RAURET, G.*et al*,1999).

Análises do teor de metais nos sedimentos, nos materiais particulados e na água são de fundamental importância, uma vez que a qualidade ambiental destes compartimentos

refletem na manutenção da vida e no equilíbrio da cadeia trófica, influenciando diretamente os recursos pesqueiros e consequentemente na saúde humana.

3.1.6 Limites de quantificação e detecção.

A confiabilidade técnica e metrológica de dados analíticos referentes ao meio ambiente é de extrema relevância, uma vez que os mesmos são utilizados como base na tomada de decisões através da comparação com valores legais. Dados analíticos laboratoriais frequentemente são utilizados como subsídios a ações de gestão ambiental, envolvendo muitas vezes altos investimentos e implicações socioeconômicas.

Desta forma, a escolha dos métodos a serem utilizados, bem como o gerenciamento da qualidade da execução dos procedimentos analíticos, são

fundamentais para que a confiabilidade adequada seja atendida. Desta forma, é essencial que durante o planejamento das condições de amostragem e análises laboratoriais sejam acordados com o laboratório executante os aspectos ligados as exigências da legislação e as necessidades de qualidade dos resultados, com objetivo de serem evitadas análises desnecessárias, bem como repetição de análises quando resultados não esperados ocorrem ou, ainda, a não obtenção de dados necessários à tomada de decisão, ocasionando custos adicionais e atrasos.

As boas práticas de laboratório, como necessidades técnicas, tais como o cálculo dos limites de quantificação e detecção, rastreabilidade de resultados e de amostras, uso de materiais de referência, mecanismos de controle de qualidade de resultados e de calibração de equipamentos e acreditação do laboratório junto ao INMETRO devem ser contempladas.

Os limites analíticos são valores relacionados à incerteza associada à medida obtida no procedimento de análise, e fornece a confiabilidade dos resultados fornecidos, sendo traduzido por um ponto onde a medida obtida é maior que a incerteza associada a ela (SILVÉRIO, P.F. *et al*). Os limites analíticos mais utilizados são o limite de quantificação e o limite de detecção.

O limite de detecção é a menor quantidade do analito que pode ser detectada na amostra, ainda que não possa ser quantificada com a metodologia empregada. O cálculo do limite de detecção depende do tipo de analito (matriz) e, no caso dos métodos em questão, é baseado na capacidade do detector dos equipamentos de distinguir entre o sinal e o ruído.

O limite de quantificação é a menor quantidade do analito em uma amostra que se pode quantificar com confiabilidade de precisão e exatidão adequadas, com a metodologia escolhida para os objetivos desejados. O cálculo do limite de quantificação envolve repetições de medidas e cálculos estatísticos de dispersão, eventualmente modificações nos procedimentos metodológicas até que o menor valor com a confiabilidade de resposta nas condições de operação seja atingida (SILVA, A.P. *et al*, 2006).

É importante ressaltar que os limites analíticos são diretamente ligados às condições operacionais do laboratório, incluindo a habilidade e capacitação dos operadores, sendo específico para cada elemento ou substância analisada e também para cada conjunto de análises. O limite de quantificação para estudos ambientais devem estar abaixo dos

estabelecidos na legislação vigente, devendo ser utilizada uma etapa de pré-concentração ou um método mais adequado aos níveis dos parâmetros, se necessário.

3.2 ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados analisados foram disponibilizados em laudos constantes em portal eletrônico e se referem ao período de 06.11.2015 a 05.02.2016.. Também foram encaminhados em banco de dados, enviados em formato de planilha eletrônica em 07 de março de 2016, por solicitação do IBAMA feita em reunião realizada no IBAMA/SUPES-MG em 03/02/16. As análises dos resultados foram feitas utilizando os dados enviados nas planilhas, em razão da inexecuibilidade de processamento dos laudos.

Os ensaios para mensuração dos parâmetros de qualidade da água foram executados por laboratórios contratados pela empresa Samarco.

3.2.1 Análise e discussão dos resultados obtidos das coletas de amostras de água do rio Doce no Estado do Espírito Santo.

Foram avaliados os resultados de análise de amostras de água, coletadas nos pontos de amostragem pré-determinados pela empresa, ao longo do Rio Doce e afluentes, no Estado do Espírito Santo, nos municípios de Baixo Guandu, Itapina, Colatina, Linhares e Regência.

Ainda que vários parâmetros tenham sido indicados na tabela, alguns não tiveram resultados apresentados ou havia um número muito baixo de dados para que fosse realizada uma análise dos mesmos. Além disso, de uma maneira geral, foram observadas muitas lacunas, por valores não reportados, e muitos dados abaixo de zero (dados indeterminados, possivelmente correspondentes a resultados abaixo do limite de quantificação ou com leituras menores que a do branco de análise). Tais valores negativos foram incluídos nos gráficos apresentados no Anexo, com o objetivo de mostrar a enorme quantidade de concentrações não detectadas nas análises.

Os laboratórios contratados pela empresa não utilizaram os mesmos métodos analíticos em alguns parâmetros, o que seria mais adequado a uma análise integrada de resultados de monitoramento.

Os métodos utilizados na determinação quantitativa de metais na água, com a utilização da técnica de ICP- AES (Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente, sigla em inglês), não são os mais indicados, o que pode ter causado a obtenção de grande quantidade de dados indeterminados (“< x”). Entretanto, para a utilização desta técnica em avaliação de metais traço em água, é recomendado que sejam utilizados procedimentos que aumentem a precisão de leitura e redução de potenciais interferências. Os métodos de análise mais adequados para análise de metais neste nível de concentração, são aqueles que utilizam a técnica de ICP-MS, que entretanto requer o uso de equipamentos de alto custo.(GONÇALVES *et al*, 2010).

Os dados foram analisados em função dos parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 e da disponibilidade dos resultados contidos no banco de dados

enviado pela empresa Samarco. Para corroborar a análise dos dados, foram construídos gráficos comparativos com os limites preconizados, os quais são apresentados no Anexo deste documento.

Os valores de concentração de alumínio dissolvido mostraram-se acima do limite máximo preconizado pela Resolução, durante todo o período, ainda que se mostrem mais baixos a partir de 26.12.2015, porém ainda com resultados acima do limite.

A concentração de chumbo total apresenta-se acima do limite da Resolução durante todo o período, ainda que se mostrem mais baixos a partir de 26.12.2015, porém ainda com resultados acima do limite. Embora os dados referentes a Baixo Guandu apresentem uma maior dispersão, conforme se observa através do gráfico *box plot* apresentado no Anexo este fato não parece estar relacionado a uma estação específica.

Em relação a concentração de cianeto livre, os valores encontram-se de forma geral, bem acima dos limites da Resolução, ocorrendo um aumento ao longo do período a partir de 25.11.2015. Através do gráfico *box plot* apresentado no Anexo este fato não parece estar relacionado a uma estação específica.

Observando-se os valores reportados para a concentração de ferro total e manganês, verifica-se dados muito acima do limite. Entretanto, os valores relativos a manganês mostram-se mais baixos a partir de 26.12.2015, porém ainda com resultados um pouco acima do limite.

A concentração de fósforo total cresce abruptamente a partir de 16.11.2015 e estabiliza em níveis bem mais baixos a partir de 22.12.2016 até o final do período, porém ainda com resultados acima do limite.

Os valores de mercúrio total mostram-se muito altos, estabilizando-se abaixo do limite da resolução a partir da data de 17.12.2015. Como pode ser observado no gráfico de *box plot* apresentado no Anexo, estes valores parecem estar localizados principalmente nas estações de coleta de amostras localizadas em Baixo Guandu e Itapina.

Ao observar os dados relativos a oxigênio dissolvido, observam-se vários valores abaixo do permitido pela legislação em 17.11.2015 e entre 04.12 e 16.12.2015. Entretanto, foram apresentados poucos dados em relação ao esperado (muitas lacunas), não sendo possível uma observação mais acurada do comportamento dos dados.

O teor de zinco total mostra um aumento abrupto entre os dias 16.11.2015 e 20.11.2015 e valores acima do limite entre os dias 02.12.2015 a 15.02.2015, estando abaixo do limite da legislação durante o restante do período fora deste intervalo. Como pode ser observado no gráfico de *box plot* no Anexo, estes valores elevados estão relacionados às estações de coleta de amostras de Baixo Guandu e Itapina.

Os resultados de turbidez ficam próximos ao limite legal, entretanto aumentam brusca e intensamente no período de 17.11.2015 a 22.12.2015 e a partir da data de 14.01.2015 voltam ao comportamento anterior, permanecendo próximos do limite até o fim do período, ainda que com muitos valores acima deste.

Os valores do parâmetro cor verdadeira mostram-se próximos do limite da resolução durante todo o período, porém no período de 17.11 a 18.12.2015 os dados estão muito acima do limite. Conforme se pode observar no gráfico de *box plot* no Anexo este fato não parece estar relacionado a uma estação específica.

Pelos dados apresentados, verificam-se variações relevantes entre as datas de 16/11 e 26/12, não tendo sido identificada uma estação específica que pudesse ser relacionada a este fato. O motivo destas variações deve ser investigado.

Como já demonstrado em estudo anterior, feito por FERNANDEZ, (2011) para qualidade da água dos rios Guapi-Macacu e Caceribu no Estado do Rio de Janeiro, a modelagem em rios é uma ferramenta bastante útil para avaliação da dispersão de poluentes e na simulação de possíveis consequências do lançamento destes. O estudo foi realizado a partir da construção de um diagnóstico da considerando vazões dos rios em período seco e chuvoso e reproduzindo a dispersão de poluentes através de modelagem numérica ao longo dos rios. Estudos de modelagem da dispersão de poluentes ao longo do rio Doce podem auxiliar para o melhor conhecimento da dinâmica do mesmo.

3.2.2 Análise e discussão dos resultados obtidos das coletas de amostras de água na região marinha próxima a foz do rio Doce.

No banco de dados apresentados foram disponibilizados resultados de análises na água nas estações 1E, 2E, 3E, 4E, 1N, 2N, 3N, 4N, 1S, 2S, 3S, 4S, RP1, RP2, RP3, UC1, UC2, UC3, Seções IA, IB, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, XI, XII, XIII, Abrolhos, Foz do rio São Matheus, Foz Barra Seca e Foz do rio Mariricu de coletas na superfície e fundo, realizadas no período de 17 de novembro de 2015 a 05 de fevereiro de 2016. Alguns pontos só foram amostrados uma única vez, e os parâmetros amostrados diferem de estação para estação.

Para estas coletas foram apresentados resultados de análise dos seguintes parâmetros: Concentração de metais (alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, ferro dissolvido, ferro total, manganês, mercúrio, zinco), Coliformes Termotolerantes (*Escherichia Coli*), Coliformes Termotolerantes (fecais), Condutividade, Cor Aparente, Cor Verdadeira Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo, Oxigênio Dissolvido (OD), pH, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Totais Dissolvidos, Temperatura, Turbidez e Salinidade.

O estudo dos nutrientes é de fundamental importância para o conhecimento dos processos biológicos e para detectar possíveis alterações da comunidade fitoplanctônica na foz do rio Doce, além de servirem de indicativos de poluição. Não foram realizadas análises de Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal total e fosfato nas amostras de água. A presença de material em suspensão na água prejudica a penetração da luz e diminui a fotossíntese, enquanto que as concentrações de compostos inorgânicos de fósforo e nitrogênio podem desencadear uma proliferação algácea acarretando eutroficação do meio. A análise de clorofila é necessária para complementar as informações acima.

As análises de água apresentadas nos laudos disponibilizados e analisados não contemplam a determinação da concentração do cromo, o que é importante para rastrear a presença do material proveniente da barragem de Germano. Além da determinação de cromo no compartimento água, outros parâmetros importantes que são indicativos da qualidade ambiental não foram analisados, tais como: Cobre, estrôncio, níquel, vanádio, bário, manganês, teor de clorofila, teor de nitrogênio amoniacal total, teor de nitrato, teor de nitrito, teor de fosfato e fósforo total.

Em estudo realizado por PIRES *et al.*, (2003) para determinar o potencial poluidor do resíduo sólido da barragem de Germano, no município de Mariana -MG, os testes mostraram a grande capacidade deste material na retenção de metais pesados principalmente o cromo. Desta forma é importante a análise deste metal e de outros na água, no material particulado em suspensão e também no sedimento em um número de amostras suficiente para que se possa fazer um estudo representativo da região. Isto é particularmente fundamental após o rompimento da barragem de rejeitos da Samarco.

Nos dias 17 e 18 de dezembro de 2015 foi realizada uma única coleta nas estações IA, IB, II, III, IV, V,VI, VII e VIII que contemplou análises de óleos e graxas visíveis, substâncias que comunicam odor, corantes artificiais, resíduos sólidos objetáveis, coliformes termotolerantes (*E. coli*), carbono orgânico total, oxigênio dissolvido, pH (a 25°C), alumínio dissolvido, arsênio total, bário total, boro total, berílio total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cloro total, cobre dissolvido, cromo total, ferro dissolvido, fluoreto total, fósforo total, manganês total, mercúrio total, níquel total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, polifosfato, prata total, selênio total, sólidos dissolvidos totais, temperatura, tálio total, urânio total, zinco total, benzeno, carbaril 2,4-D, demeton, dodecacloropentaciclodecano, endossulfn, endrin, etilbenzeno, fenóis totais, gution, lindano (G-HCH), malation metoxicloro, monoclorobenzeno, pentalclorofenol, PCB – bifenilas policloradas, surfactantes (como LAS), 2,4,5-T, tolueno,2,4,5-TP, triclorobenzenos, tricloroeteno e materiais flutuantes. Destas coletas os parâmetros berílio total, cádmio total, chumbo total, cianoto livre, cloro total, cobre dissolvido, cromo total, mercúrio total, níquel total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, polifosfato, prata total, selênio total, tálio total, urânio total, zinco total, benzeno, carbaril 2,4-D, demeton, dodecacloropentaciclodecano, endossulfan, endrin, etilbenzeno e fenóis apresentaram valores abaixo do limite de quantificação ou de detecção.

Para esta análise só foram utilizadas as estações amostrais 1E, 2E, 1N, 2N, 1S, 2S, RP1, e Seções IA, IB, II, III, IV e V com coletas na superfície e fundo, uma vez que estas estações estão mais próximas a foz e foram amostradas mais de uma vez com parâmetros comuns. Um estudo considerando todas as estações é necessário para uma avaliação completa, mas devido ao enorme volume de dados e ao tempo disponível foram priorizadas as estações mais próximas a Foz do rio Doce.

Os resultados apresentados no banco de dados, enviado em formato de planilha eletrônica, pela empresa Samarco para água do mar encontram-se na tabela 01. Os dados foram compilados das planilhas sem nenhum tratamento estatístico e representam os valores de 4680 coletas nas estações amostrais 1E, 2E, 1N, 2N, 1S, 2S, RP1, e Seções IA, IB, II, III, IV coletados entre os dias 09 de novembro de 2015 e 27 de janeiro de 2016.

No Anexo I estão os gráficos com os dados brutos plotados. Foram excluídos aleatoriamente os maiores valores de cada parâmetro, no máximo 5, de um total de 4680 amostragens, para uma melhor visualização dos resultados. A tabela inclui todos os valores e os limites preconizados na Resolução CONAMA 357/2005 para água salgada classe 1 e para água salobra classe 2, uma vez que a condutividade indica que algumas amostras são marinhas e outras salobras, representando os valores mais restritivos e menos restritivos.

Tabela 01: Resultados apresentados no banco de dados, enviado em formato de planilha eletrônica, pela empresa Samarco para amostras de água do mar coletadas nas estações amostrais 1E, 2E, 1N, 2N, 1S, 2S, RP1, e Seções IA, IB, II, III, IV entre os dias 09 de novembro de 2015 e 27 de janeiro de 2016.

Concentrações na água no mar próximo a faz do rio Doce entre 17/11/2015 a 05/02/2015							
Estações : Seção IA, IB, II, III, IV, V, 1E, 2E, 1N, 2N, 1S, 2S, RP1							
				CONAMA 357/2005 -410/2009			
Concentrações				Água Salgada		Água Salobra	
PARÂMETROS	Mínimo	Máximo	Média	Classe 1	Classe 2	Classe 1	Classe 2
TURBIDEZ (NTU)	0,2	3690	66,561	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
CONDUTIVIDADE (μ S/cm)	44,4	663000	52585				
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mg/L)	0,17	36	5,15	6,00	5,00	5,00	4,00
FERRO DISSOLVIDO (mg/L)	0,02	5,2	0,32	0,30	0,30	0,30	0,30
FERRO TOTAL (mg/L)	0,02	335,1	2,42				
MANGANÊS TOTAL (mg/L)	0,01	3,7	0,0886	0,10	0,10	0,10	0,20
MERCÚRIO TOTAL (mg/L)	0,0002	0,822	0,031	0,0002	0,0018	0,0002	0,0018
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (UFC/100mL)	0	15000	45,62	1000	2000	1000	2500
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/100mL)	2	7400	206,56	1000	2000	1000	2500
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (E.COLI) (NMP/100mL)	10	134	42,5				
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (E.COLI) (UFC/100mL)	1	250000	31849				
DBO (mgO ₂ /L)	0	19,37	4,82				
ALUMÍNIO TOTAL (mg/L)	0,02	149	1,09				
ARSÊNIO TOTAL (mg/L)	0,01	0,62	0,1473	0,01	0,069	0,01	0,069
CÁDMIO TOTAL (mg/L)	0,0001	0,082	0,0066	0,05	0,04	0,05	0,04
CHUMBO TOTAL (mg/L)	0,0006	0,325	0,0285	0,01	0,21	0,01	0,21
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (mg/L)	30	444210	37346				
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)	30	1754	381				

A passagem de água com elevada turbidez ocorreu no dia 21 de novembro de 2011. Pelos gráficos apresentados foi possível verificar que a chegada da lama refletiu, dentre os parâmetros amostrados, em aumento de DBO, Alumínio, Ferro, Cadmio, Chumbo, Mercúrio, Fósforo, Manganês, Sólidos em suspensão, e turbidez. A turbidez acompanhou a tendência do material particulado em suspensão, ocorrendo uma diminuição ao longo do tempo, mas ainda com valores elevados, e apresentando picos em 25 de janeiro de 2016 e 31 de janeiro de 2016.

O oxigênio, mesmo nas coletas mais recentes, apresenta concentrações abaixo dos limites preconizados na CONAMA para a classe 1, que é a destinada à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas e à aquicultura e à atividade de pesca, indicando a inadequabilidade da água aos usos que se destina.

A análise de colimetria foi feita por dois métodos diferentes ao longo do período. Alguns poucos valores estiveram acima da CONAMA 357/2005 considerando os demais usos, porém para balneabilidade (CONAMA 274/2000) e para o cultivo de moluscos bivalves muitos valores não atendem aos limites da legislação.

Pelos gráficos é possível verificar a descontinuidade de análises ao longo do período. Além de muitos resultados estarem abaixo do limite de quantificação, nem todos os parâmetros foram coletados em todas as análises. Muitos dos limites de quantificação reportados estão iguais aos valores da Resolução CONAMA, não tendo sido apresentada a memória de cálculo dos mesmos. Entretanto, conforme o procedimento de cálculo do limite de quantificação (ABNT, 2001), é pouco provável que todos sejam iguais matematicamente, nas ocasiões de realização dos ensaios. Desta forma, são necessárias revisões nestes limites apresentados.

Os metais analisados apresentaram algumas poucas concentrações acima dos limites legais, associadas a chegada da lama. Os metais Zinco e Ferro ainda apresentaram valores acima dos limites legais nas coletas mais recentes.

Assim como relatado na análise da água doce, os métodos utilizados na determinação quantitativa de metais na água, com a utilização da técnica de ICP- AES (Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente, sigla em inglês), não são os mais indicados, o que pode ter causado a obtenção de grande quantidade de dados indeterminados (“< x”). Entretanto, para a utilização desta técnica em avaliação de metais traço em água do mar é recomendado que sejam utilizados procedimentos que aumentem a precisão de leitura e redução de potenciais interferências. Os métodos de análise mais adequados para análise de metais neste nível de concentração, são aqueles que utilizam a técnica de ICP-MS, que entretanto requer o uso de equipamentos de alto custo.(GONÇALVES *et al*, 2010).

3.2.3 Análise e discussão dos resultados obtidos das coletas de amostras de sedimento no rio Doce no Estado do Espírito Santo

Foram disponibilizados laudos de análise de sedimento para o Estado do Espírito Santo, relativos a coletas realizadas durante o período de 09 de novembro de 2015 e 27 de janeiro de 2016 no rio Doce, nos seus afluentes rio Pancas, rio Santa Joana e rio Santa Maria do Doce. Foram feitas análises de arsênio, bário, boro, cádmio, carbono orgânico total, chumbo, cobre, cromo, ferro, magnésio, manganês, mercúrio, níquel, nitrogênio total KJEDAHL, zinco, fósforo total, tributilestanho, potencial hidrogeniônico e potencial de oxi-redução, além de análise de granulometria.

Os resultados apresentados no banco de dados, enviado em formato de planilha eletrônica, pela empresa Samarco para sedimentos coletados no Estado do Espírito Santo, ao longo das estações de coleta no rio Doce, encontram-se na tabela 02. Os dados foram compilados das planilhas sem nenhum tratamento estatístico e representam os valores nos pontos agrupados do Baixo Guandu, Itapina, Colatina, Linhares e Regência coletados entre os dias 09 de novembro de 2015 e 27 de janeiro de 2016.

Tabela 02: Concentrações nas amostras de sedimentos no rio Doce, coletadas entre os dias 09 de novembro de 2015 e 27 de janeiro de 2016; valores de referência da CONAMA 454/2012.

PARÂMETROS	CONCENTRAÇÕES										CONAMA 454	
	Baixo Guandu		Itapina		Colatina		Linhares		Regência		Classe	
	Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima	Média	1	2
ARSÊNIO (mg/kg)	5,40	2,75	6,70	4,63	6,33	4,05	7	3,61	47	10,93	5,9	17
BÁRIO (mg/kg)	181,00	75,01	207,00	65,72	215	23,56	86	21,53	162	43,39		
BORO (mg/kg)	92,00	29,47	177,00	62,28	1,99	48,21	58,4	12,93	35	15,3		
CÁDMIO (mg/kg)	80,00	7,41	44,00	44,00	40	6,94	42,5	6,19	15,7	2,85	0,6	3,5
COT (%)	54,00	23,43	ND	ND	32,1	23,05	41,5	23,2	1,33	0,802	10*	
CHUMBO (mg/kg)	98,00	9,31	51,00	10,65	45	7,17	21,6	5,11	25	7,25	35	91,3
COBRE (mg/kg)	96,00	11,19	48,00	13,94	41	8,02	35,2	7,55	29,2	7,02	35,7	197
CROMO (mg/kg)	131,00	24,60	74,30	25,72	78,5	16,53	45,7	16,46	83	24,64	37,3	90
FERRO (mg/kg)	115800,00	31840,08	164700,00	45030,90	126400	25436,23	143800	22367,38	112707	33972,92		
MAGNÉSIO (mg/kg)	3236,00	1391,58	4240,00	1485,94	4840	453,71	1150	356,56	5599	1983,29		
MANGANÊS (mg/kg)	823,00	205,76	958,00	201,40	897	109,83	692	133,02	1731	288,85		
MERCÚRIO (mg/kg)	0,09	0,08	0,24	0,19	0,23	0,23	0,11	0,11	0,13	0,13	0,17	0,486
NÍQUEL (mg/kg)	92,00	13,03	49,00	17,64	42	11,22	42,4	9,43	34,5	8,78	18	35,9
N TOTAL KJEDAH (mg/kg)	657,00	195,38	ND	ND	0,42	0,24	0,78	0,49	350	147,35	4800*	
ZINCO (mg/kg)	134,00	33,18	3168,00	155,97	107	20,76	62,8	18,38	65	24,69	123	315
FÓSFORO TOTAL (mg/kg)	388,00	79,43	89,50	67,95	108	50,37	97,1	46,2	84,3	54,036	2000 *	
pH	7,04	6,46	7,52	7,26	7,34	6,69	7,53	6,62	7,04	7,04		
Eh	366,00	178,21	251,00	233,00	317	209,64	282	218,33	249	249		

* Valores orientadores

As coletas de sedimento não seguiram um padrão definido. Os parâmetros amostrados em cada coleta foram diferentes, assim como as estações visitadas no período. A maior parte dos resultados analíticos apresentaram valores abaixo do limite de quantificação, assim como foram reportados com diferenças nos algarismos significativos, em relação ao limite de quantificação.

Para a avaliação dos dados de sedimento, foi utilizado como referência, os valores descritos na Resolução CONAMA 454/2012, que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional e, valores relatados na literatura. O Anexo I apresenta alguns parâmetros relevantes plotados em gráficos contendo a concentração por local e por data de coleta, tendo como referência em amarelo, quando existente, o limite preconizados na Resolução CONAMA 454/2012 para a classe 1.

O Arsênio apresentou concentrações acima dos limites preconizados na CONAMA 454/2012, principalmente para as estações em Regência. O Cadmio apresentou muitos valores abaixo do limite de quantificação e, quando detectado as concentrações foram elevadas, estando acima dos limites preconizados na CONAMA 454/2012 para a classe 2. Após o dia 18/12/2015 só foram apresentados resultados de três análises de Arsênio para o Baixo Guandu e nenhuma análise de Magnésio.

Os parâmetros Chumbo, Cromo, Níquel, Zinco, Cobre, Mercúrio também apresentaram alguns valores acima dos limites estabelecidos na CONAMA 454/2012 e as maiores concentrações ao longo do rio Doce, no trecho do Estado de Espírito Santo, foram encontradas nas estações mais a montante, principalmente na região do Baixo Guandu e Colatina.

Não foi possível observar nos sedimentos uma variação significativa das concentrações com a data na maior parte dos parâmetros amostrados. As concentrações de Fe e Ni apresentaram um aumento ao longo do tempo.

Esta interpretação deve ser vista com ressalvas uma vez que as análises foram realizadas na fração total e a composição dos sedimentos em muitos pontos é praticamente arenosa. Esta variação pode estar associada ao tipo de sedimento e não a distribuição espacial e a data. Estudos correlacionando a granulometria, teor de carbono orgânico, potencial de oxi-redução dentre outros parâmetros são necessários para uma melhor interpretação dos resultados. Os parâmetros devem ser comparados a dados da literatura anteriores ao rompimento da barragem do Fundão, para um conhecimento prévio da região impactada assim como com outros estudos realizados após o rompimento para comparação e avaliação dos resultados (e.g CPRM, IEMA, IGAM).

O monitoramento realizado nos sedimentos do rio Doce não contemplou análises de alumínio, estrôncio, vanádio, enxofre e sulfetos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), bifenilas policloradas (PCBs) e pesticidas organoclorados. Além dos dados apresentados não fornecerem uma informação consistente, importantes poluentes não foram analisados, não sendo possível avaliar a contento a contaminação ambiental.

Com os laudos disponibilizados de sedimento não foi possível realizar uma análise adequada e comparativa das concentrações apresentadas, devido as inconsistências apontadas acima. Alguns parâmetros foram analisados uma única vez ou um número de vezes insuficientes ou não tiveram nenhum resultado reportado. Desta forma, o monitoramento não apresentou todas as análises necessárias à avaliação ambiental.

É fundamental que sejam seguidas diretrizes mais assertivas de monitoramento para que seja evitado esforço de trabalho que não gere informações adequadas, bem como direcionar esforços e recursos a análises de parâmetros de forma tal que se possa realizar uma análise ambiental mais consistente.

3.2.4 Análise e discussão dos resultados obtidos nas coletas de amostras de sedimento na região marinha próxima a foz do rio Doce

Foram disponibilizados laudos de análise de sedimento para a região marinha de uma coleta realizada nas seções IA, IB, II, III,IV,V,VI,VII,VIII e IX durante os dias 17 e 18 de novembro de 2015, ou seja, antes da chegada da lama no mar e de 14 coletas realizadas ao longo da seção IV entre os dias 23 de novembro de 2015 a 04 de fevereiro de 2016. Foram feitas análises dos metais Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco, além de Carbono Orgânico Total Nitrogênio Orgânico Total KJEDAHL, Fósforo Total, Tributilestanho, Pesticidas Organoclorados, Bifenilas Policloradas (PCBs), Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) e granulometria. Todos os resultados de Cadmio, Mercúrio, Tributilestanho, Pesticidas Organoclorados e Bifenilas Policloradas (PCBs), apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação.

Para a avaliação dos dados de sedimento, foi utilizado, como referência, os valores descritos na Resolução CONAMA 454/2012, que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional e, valores relatados na literatura. Foram utilizados os dados somente da seção IV, uma vez que só ocorreu uma coleta nas demais seções. O anexo 01 apresenta alguns parâmetros relevantes plotados em gráficos contendo a concentração

por local e por data de coleta, tendo como referência em amarelo, quando existente, o limite preconizados na Resolução CONAMA 454/2012 para a classe 1.

O Arsênio foi o único elemento analisado que apresentou concentrações acima dos limites preconizados na CONAMA 454/2012. O Arsênio, Chumbo, Cobre, Cromo, Níquel, e Zinco apresentaram as menores concentrações antes da chegada da lama.

Esta interpretação deve ser vista com ressalvas uma vez que as análises foram realizadas na fração total e a composição dos sedimentos em muitos pontos é praticamente arenosa. Estudos correlacionando a granulometria, teor de carbono orgânico, potencial de oxi-redução dentre outros parâmetros são necessários para uma melhor interpretação dos resultados. Os parâmetros devem ser comparados a dados da literatura anteriores ao rompimento da barragem do Fundão, para um conhecimento prévio da região impactada assim como com outros estudos realizados após o rompimento para comparação e avaliação dos resultados (e.g CPRM, IEMA, IGAM).

O monitoramento realizado em sedimentos marinhos não contemplou análises de ferro, manganês, magnésio, alumínio, estrôncio, vanádio, bário após a chegada da lama. Recomenda-se que estes metais, assim como enxofre e sulfetos e o potencial de oxi-redução sejam incluídos nas análises que estão sendo realizadas no âmbito do monitoramento do sedimento estuarino e marinho. Embora não esteja previsto na Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), potencial de oxi-redução, junto aos demais, também é um instrumento para a avaliação da qualidade da água. Os processos redox afetam a qualidade química das águas naturais, podendo mobilizar ou imobilizar metais potencialmente tóxicos, contribuindo para a degradação ou a preservação de poluentes antropogênicos, e gerando subprodutos indesejáveis, tais como ferro dissolvido ferroso (Fe^{2+}), gás sulfídrico (H_2S) e metano (CH_4). Foram realizadas poucas amostragens nos sedimentos marinhos próximo a foz do rio Doce e importantes poluentes não foram analisados, não sendo possível avaliar a contento a contaminação ambiental.

Os resultados apresentados pela empresa Samarco para Arsênio, Chumbo, Cobre, Cromo, Níquel, e Zinco foram comparados com os dados do relatório final do projeto de caracterização ambiental regional da Bacia do Espírito Santo (PCR-ES) de coletas realizadas na foz do rio Doce no período de 15 de dezembro de 2010 a 17 de julho de 2011, em profundidades entre 13 e 55 metros (PETROBRAS, 2015). A média das concentrações encontradas no projeto foram superiores para todos os metais, com exceção do Zinco que apresentou valores semelhantes. As concentrações dos metais analisados no sedimento se encontram abaixo dos valores relatados na literatura para a região. (PETROBRAS, 2015; JESUS, H.C., *et al.*, 2004). Como foi realizada uma coleta pela Samarco antes da chegada da lama, fica difícil de compreender estas diferenças tão significativas. Podem estar relacionadas a variações ambientais, ou a problemas e diferenças nos procedimentos analíticos e de coletas.

Com os laudos disponibilizados de sedimento não foi possível realizar uma análise adequada e comparativa das concentrações apresentadas, principalmente devido ao número reduzido de amostragens e a ausência de análise de todos os parâmetros necessários à avaliação ambiental.

4.0 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Alguns dos parâmetros analisados se encontram desenquadrados considerando os limites preconizados na Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005).

Deverão se consideradas todas as ponderações efetuadas ao longo deste parecer, inclusive adequando o monitoramento às diretrizes gerais elencadas abaixo para uma avaliação consistente do impacto ambiental gerado pelo rompimento da barragem do Fundão.

O que está sendo apresentado até o momento pela empresa em atendimento à notificação são dados brutos de coleta de água e sedimentos, sem as respectivas análises estatísticas críticas necessárias para melhor compreensão dos efeitos dos parâmetros nos corpos d'água.

Desta forma, o IBAMA deverá oficiar a empresa a:

1). Apresentar um relatório com os dados disponíveis consolidados, contendo gráficos dos parâmetros por estação ao longo do tempo, indicando os limites preconizados na legislação vigente e as respectivas médias históricas, das quais deverá ser citada a fonte.

Os dados deverão ser interpretados e comparados com dados da literatura (relatórios de instituições, artigos, dissertações e teses de universidades). Os diferentes parâmetros deverão ser relacionados, com objetivos específicos, e.g. silte e argila versus metais em sedimentos e turbidez versus oxigênio dissolvido na água, e demonstrados em gráficos, para um melhor entendimento dos processos ao longo do rio. Deverão ser também apresentados mapas detalhados, delimitando a área afetada e pontos de coleta de amostras (mapeamento georreferenciado, com os shapefiles).

2). Atender as diretrizes gerais abaixo na elaboração do plano de monitoramento dos parâmetros físico-químicos, químicos, biológicos e bioquímicos da bacia do Rio Doce, tributários e região estuarina. Sendo que o monitoramento deverá contemplar:

I - Diagnóstico ambiental consistente que considere:

- A composição total dos rejeitos do resíduo da empresa Samarco;
- Dados históricos de parâmetros físico-químicos, químicos, biológicos e bioquímicos da bacia do Rio Doce, incluindo tributários e região estuarina;
- Dados coletados recentes de todos os parâmetros físico-químicos, químicos, biológicos e bioquímicos, na água, sedimentos e no material em suspensão na bacia do Rio Doce incluindo tributários e região estuarina. Na ausência de dados recentes estes deverão ser coletados;
- Relatório integrado com os dados disponíveis consolidados, contendo gráficos dos parâmetros por estação ao longo do tempo, indicando os limites preconizados na legislação vigente e as respectivas médias históricas, das quais deverá ser citada a fonte. Os dados deverão ser interpretados e comparados com dados da literatura (relatórios de instituições, artigos, dissertações e teses de universidades). Os diferentes parâmetros deverão ser relacionados com objetivos específicos, e.g. silte e argila versus metais em sedimentos e turbidez versus oxigênio dissolvido na água, e demonstrados em gráficos, para um melhor entendimento dos processos ao longo dos rios e região estuarina.
- Todos os dados numéricos brutos recentes, obtidos para execução do diagnóstico, deverão constar no respectivo relatório, a ser apresentado ao órgão ambiental, em

arquivo de planilha (formato .xls) editável, para fins de eventuais estudos posteriores, caso sejam necessários.

– Apresentar mapas detalhados, delimitando a área afetada e pontos de coleta de amostras (mapeamento georreferenciado, com os shapefiles).

– Realizar tratamento estatístico, e respectiva interpretação dos dados de coleta das amostras e dos resultados obtidos, vinculando os mesmos com os pontos de coleta e diversos segmentos das áreas afetadas.

– Adicionalmente deverá ser elaborado um banco de dados com todas as informações levantadas, consolidadas.

– O relatório do diagnóstico deverá apresentar, com justificativas técnicas, os principais parâmetros a serem monitorados.

II - Planejamento do formato e execução do novo Plano de Monitoramento ambiental, o qual deverá contemplar:

- Com base no diagnóstico ambiental previamente realizado, deverá ser elaborado planejamento estatístico dos pontos de coleta de amostras, compartimentos, periodicidade das coletas e parâmetros a serem analisados, de forma a ter uma qualidade amostral e um delineamento possível de produzir respostas aos questionamentos dos diversos órgãos ambientais federal e estaduais sobre impactos gerados em decorrência do rompimento da barragem, evitando uma quantidade excessiva de dados que não possam ser utilizados para os objetivos a serem atingidos. Deverão ser utilizadas técnicas estatísticas adequadas de Planejamento de Experimento.

- Definição criteriosa dos pontos de coleta, com justificativas técnicas das escolhas dos mesmos, contemplando, além dos pontos considerados críticos em função do diagnóstico, pontos comuns aos diferentes órgãos envolvidos, e.g., IBAMA, IGAM, SAMARCO, CPRM, SEMAD, e outros, considerando a geomorfologia da bacia, contemplando as margens (erosiva e deposicional) e a calha.

- Realização de análises dos parâmetros nos compartimentos água, material em suspensão, coloide, sedimento e resíduo. Fazer amostragens programadas de sedimentos em testemunhos para os parâmetros mais significativos, com datação do sedimento, para avaliação da camada original, da camada alterada e da camada mais recente que foi depositada pela mobilização do resíduo.

- Consideração de diferentes periodicidades adequadas para a coleta dos parâmetros, contemplando análises diárias de parâmetros físico-químicos, semanais ou mensais dos demais parâmetros para comparação com dados preexistentes para a bacia de drenagem;

- Definição dos parâmetros a serem analisados com base, nos dados já obtidos pela empresa Samarco e órgãos estaduais, além de dados bibliográficos, considerando os materiais provenientes da atividade e o material remobilizado e alterado em decorrência dos impactos físicos do rompimento da barragem.

- Padronização de metodologias de coleta e análise, de forma que todos os laboratórios contratados utilizem os mesmos procedimentos e métodos analíticos. Utilizar equipamentos, métodos e procedimentos adequados para a coleta das amostras.

- Recomenda-se que sejam utilizados procedimentos que aumentem a precisão de leitura e redução de potenciais interferências nas análises de metais em sedimento e água por

ICP-EAS (avaliando necessidade de inclusão de procedimentos de pré-concentração de amostra/analito) ou realização das análises por ICP-MS. Revisar a determinação dos limites de quantificação (LQ) e de detecção (LD) dos parâmetros analisados, reavaliando e adequando o LD/LQ de matriz amostral, metodologia ou procedimento em função da adequação dos limites de medição conforme os preconizados pela legislação vigente, para que todas as análises possuam limite de quantificação abaixo dos limites preconizados na legislação e que estes sejam específicos para cada matriz analisada.

- Caracterização química do resíduo e do chamado “coloide” e de eventuais sobrenadantes, com identificação de componentes majoritários e minoritários, inorgânicos e orgânicos, de forma quantitativa ou “semiquantitativa”, quando a primeira não for possível por limitações técnicas específicas.

- Buscar padrões de correlação com flocculantes e outros insumos utilizados no processo de mineração, para fins de monitoramento e definição de marcadores ou traçadores. Analisar a possível presença da amina no colóide e na pluma, não só em relação ao grupamento amina, mas em relação à cadeia hidrocarbônica relativa a esta substância e uma possível relação da mesma com a pluma e coloide, inclusive na água e sedimentos marinhos.

- Com base na caracterização química acima, bem como em outras análises, definir marcadores ou traçadores para a identificação do fluxo de lama decorrente do rompimento da barragem de Fundão.

- Realizar estudos relativos à biodisponibilidade de metais, com especiação e mobilidade utilizando extração sequencial. Estudar a bioacumulação, incluindo os que possivelmente foram arrastados em função do rompimento da barragem, para as substâncias que tenham maior potencial de causar efeitos adversos tais como mercúrio, cádmio, chumbo, PCB's e pesticidas organoclorados, ao longo da cadeia trófica, associando este estudo ao monitoramento biológico.

- Deverão ser elaborados relatórios mensais, semestrais e anuais do monitoramento, quando aplicáveis, com os dados disponíveis consolidados, contendo gráficos dos parâmetros por estação ao longo do tempo, indicando os limites preconizados na legislação vigente e as respectivas médias históricas, das quais deverá ser citada a fonte. Os dados deverão ser interpretados e comparados com dados da literatura (relatórios de instituições, artigos, dissertações e teses de universidades). Os diferentes parâmetros deverão ser relacionados entre si, com objetivos específicos, e.g. silte e argila versus metais em sedimentos e turbidez versus oxigênio dissolvido na água, e demonstrados em gráficos, para um melhor entendimento dos processos ao longo do rio. Deverão ser apresentados mapas detalhados, delimitando a área afetada e pontos de coleta de amostras (mapeamento georreferenciado, com os shapefiles). Realizar tratamento estatístico, e respectiva, interpretação dos dados de coleta das amostras e dos resultados obtidos, vinculando os mesmos com os pontos de coleta e diversos segmentos das áreas afetadas.

- Gerar relatórios integrados anuais considerando as orientações acima, com os parâmetros hidrológicos, físico-químicos, químicos, biológicos, bioquímicos, geoquímicos e geológicos, onde for aplicável. Integrar a interpretação dos resultados do diagnóstico ambiental realizado com a interpretação dos resultados de monitoramento.

- Associar este monitoramento aos demais estudos realizados, i.e., Sócio econômicos, biológicos, ecológicos, integrando informações dos estados, da bacia, estuário do rio doce, manguezais, sistemas lagunares, cavidades e região marinha influenciada pela lama decorrente do rompimento da barragem do Fundão. O relatório gerado deverá ser consistente e interligado com o monitoramento unificado e integrado entre os estados do ES e MG. Apresentar mapas detalhados, delimitando a área afetada e pontos de coleta de amostras (mapeamento georreferenciado, com os shapefiles).

- Adicionalmente deverá ser elaborado um banco de dados com todas as informações levantadas em formato de planilha editável (extensão .xls), o qual deverá ser constantemente atualizado e disponibilizado aos órgãos ambientais federal e estaduais.

A periodicidade da apresentação de atualizações das informações a serem prestadas, conforme as notificações analisadas, deve ser mantida até a aprovação do novo Plano de Monitoramento.

Encaminhe-se a SUPES/ES para as providências necessárias.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001. ABNT ISO/IEC 17025:2001. Requisitos gerais para a competência de laboratório de ensaios de calibração. ABNT, Brasil.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. BRASIL, Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 alterada pelas Resoluções 410 de 2009 e 430 de 2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1.

CARVALHO, K. S. D. *et al.* Limitações ao uso da relação entre turbidez e concentração de sedimento em suspensão em duas pequenas bacias em Santa Maria, RS. In: XXI CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA. Anais. São Pedro, Estado de São Paulo, Brasil 2004.

CHAPMAN, D., Ed. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Great Britain: F & FN Spon, p.651, 2a. ed., 1996.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce. Dezembro 2015. Disponível em: www.cprm.gov.br

EPA. 2006. National Recommended Water Quality Criteria. 2006.

FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G. T. W. 1983. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. 2nd edition ed. Heidelberg, Springer-Verlag, 486 p.

FERNANDEZ, A.P.P., Avaliação da hidroquímica dos rios Macacu e Caceribu (RJ) ao longo do ano. Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2011.

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Relatório Técnico: Acompanhamento da Qualidade das Águas do Rio Doce Após o Rompimento da Barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG. Janeiro, 2016. Disponível em: www.igam.mg.gov.br

JESUS, H.C.; COSTA, E.de A.; MENDONÇA, A.S.F; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória- ES. Quim. Nova. Vol.27. No. 3, 378-386, 2004.

LOBO F. M. S., Gestão Integrada da Zona Estuarina do Rio Minho no contexto da Implementação da DQA, Dissertação de Mestrado submetida à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2012.

MANN, K.H., 2000. Ecology of Coastal Waters: With Implications For Management. 2th edition, WileyBlackwell. 406P

MORSE, J. W.; CORNWELL, J. C. Analysis and distribution of iron sulfide minerals in recent anoxic marine sediments. *Marine Chemistry*, 22: 55-69, 1987.

PETROBRAS. Relatório final do projeto de caracterização ambiental regional da Bacia do Espírito Santo (PCR-ES). V1, Revisão 00, nov 2015.

- PIRES, J.M.M.; LENA, J.C.L; MACHADO, C.C; PEREIRA, R.S. Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: Estudo de caso da barragem de Germano. R. *Árvore*, v.27, n.3, p393-397, 2003.
- PIVELI, R. P. ; KATO, M.T. Qualidade das águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 285 p. v.01, 2006
- RAURET, G; LÓPEZ-SÁNCHEZ, J.F.; SAHUQUILLO, A.; RUBIO, R.; DAVIDSON, C.; URE, A; QUEVAUVILLER, P. Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials. *J. Environ. Monit*, 1: 51-61, 1999.
- RICKLEFS, R. E. A Economia da natureza. Ed. Guanabara, Rio de Janeiro 2003.
- RIDD, P.V., STIEGLITZ, T. 2002. Dry season salinity changes in arid estuaries fringed by mangroves and saltflats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54:1039–1049
- SILVA, P. L., ALVES, M.C.C. ; Como Iniciar a Validação de Métodos Analíticos. In: ENQUALAB-2006 - Congresso e Feira da Qualidade em Metrologia. Anais. São Paulo, Estado de São Paulo, Brasil, 2006
- SILVÉRIO, P. F.; GONÇALVES, C.; LIMA, S. N. P.; TANIGUCHI, S.. Critical Applications of SW 846 US EPA Methods to Evaluation of Marine Samples Quality. *Brazilian Journal of Oceanography*, v.58, p. 49-56, 2010
- STRICKLAND, J.; PARSONS, T.. A practical handbook of sea water analysis. Fisheries Research Board of Canada. Ottawa. CA. 1972. 311 p.
- TWILLEY R. R., SNEDAKER R, R., YÁÑEZ-ARANCIBIA S. C., MEDINA A. 1996. Biodiversity and ecosystem processes in tropical estuaries: perspectives of mangrove ecosystems. In: *Mooney HA, Cushman JH, Medina E, Sala OE and Schulze E-D (Eds), Functional Roles of Biodiversity: a Global Perspective, J Wiley & Sons Ltd., New York, p. 327-370, 1996*
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Universidade federal de Minas gerais, Departamento de Engenharia Sanitária. 2005*
- WASSERMAN, J.C.; WASSERMAN, M.A. COMPORTAMENTO DE METAIS EM SEDIMENTOS in: *Poluição no Ambiente Costeiro*. José Antônio Baptista Neto; Mônica Wallner-Kersanach; Soraya M. Patchineelam (eds.). Editora Interciência, Rio de Janeiro, no prelo.
- WASSERMAN, J.C.; SILVA-FILHO, E.V; PATCHINEELAM, S.R.; BIDARRA, R. THE ROLE OF HYDRODYNAMIC PATERNS ON SUSPENDED MATTER METAL BEHAVIOUR AS RELATED TO SEDIMENTS IN SEPETIBA BAY (BRAZIL). *Proceedings of the VIII International Conference of Heavy Metals in the Environment*. J.G. Farmer (ed.). CEP Consultants, Edinburg, vol. 1:531-534, 1991.

Vitória, 12 de março de 2016

Ana Paula Pinto Fernandez
Analista Ambiental/DILIC/CGPEG
Ambiental/DILIC/CGPEG

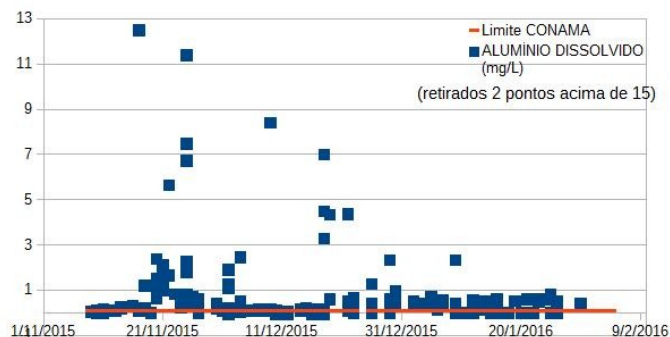
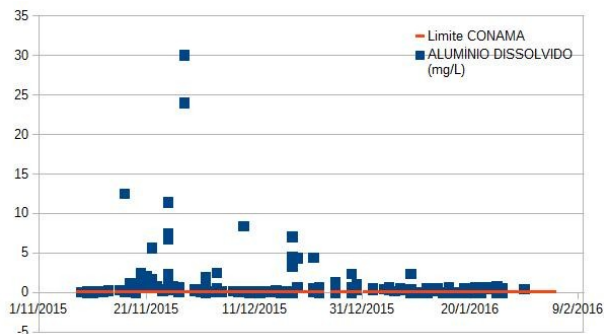
Maria Dulce Chicayban Monteiro de Castro
Analista

Cynthia Masumoto
Analista Ambiental/SUPES/SP

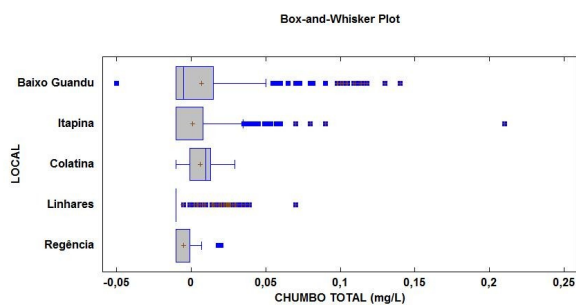
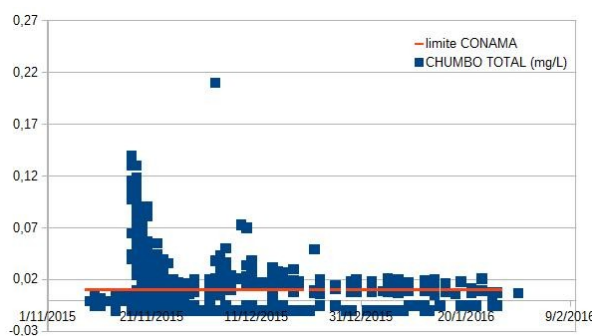
ANEXO I

1- Gráficos de resultados de análise de água doce

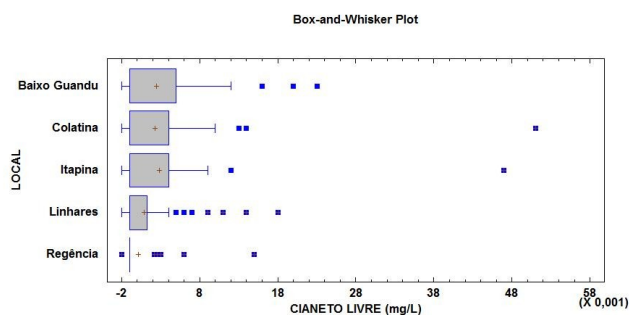
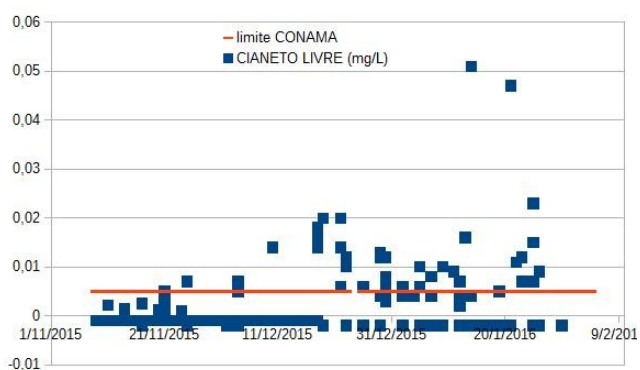
1.1 – ALUMINIO DISSOLVIDO



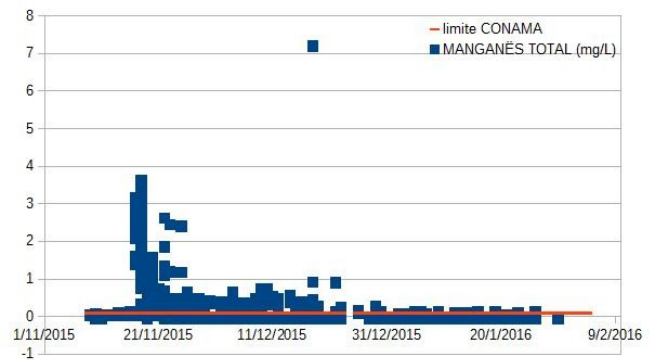
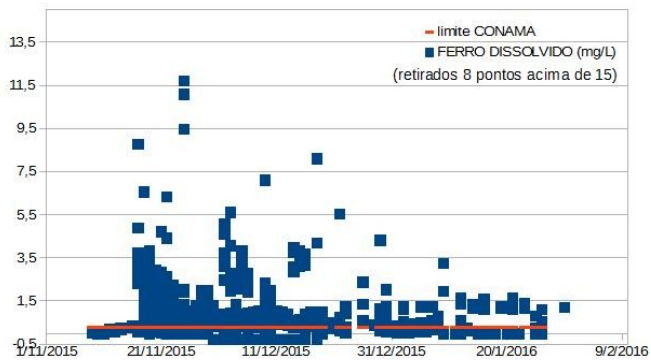
1.2 – CHUMBO TOTAL



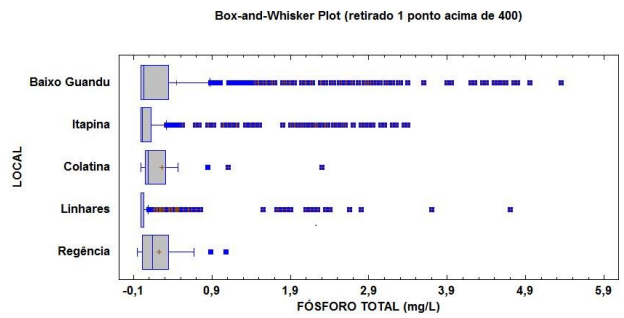
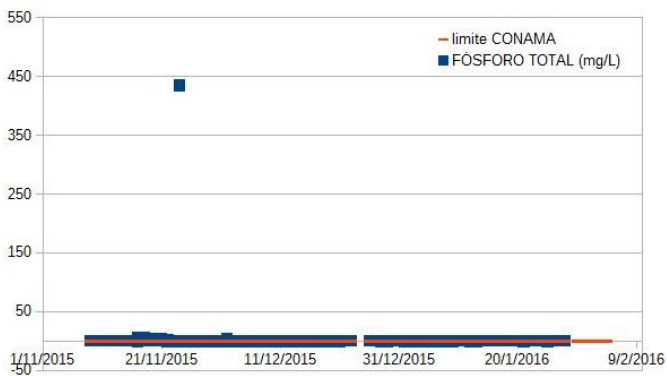
1.3- CIANETO LIVRE



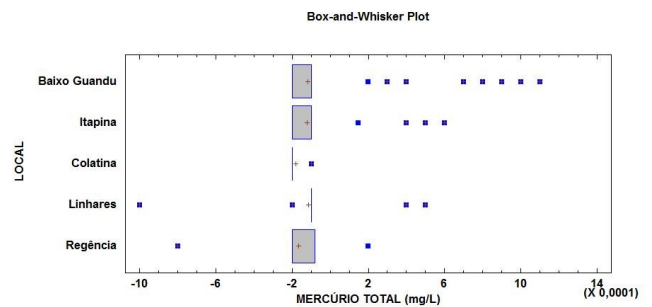
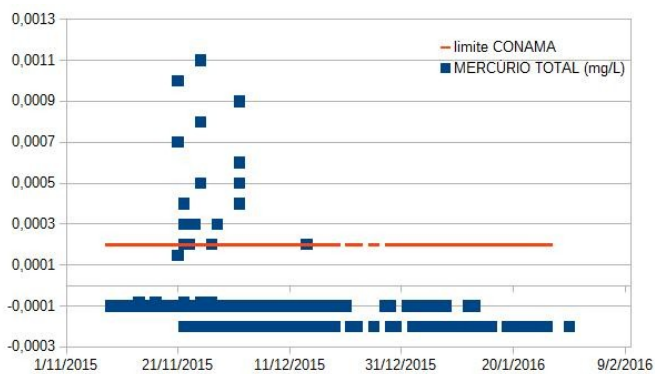
1.4 – FERRO DISSOLVIDO E MANGANES TOTAL



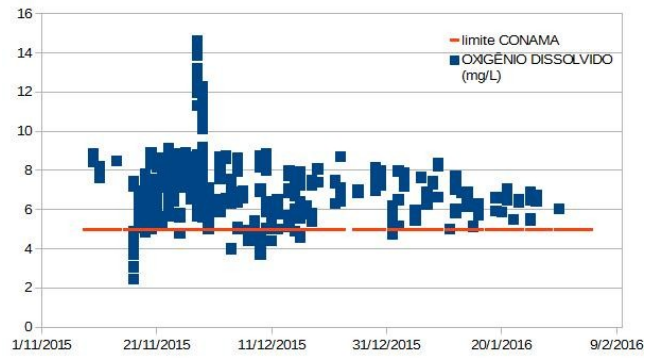
1.5 – FÓSFORO



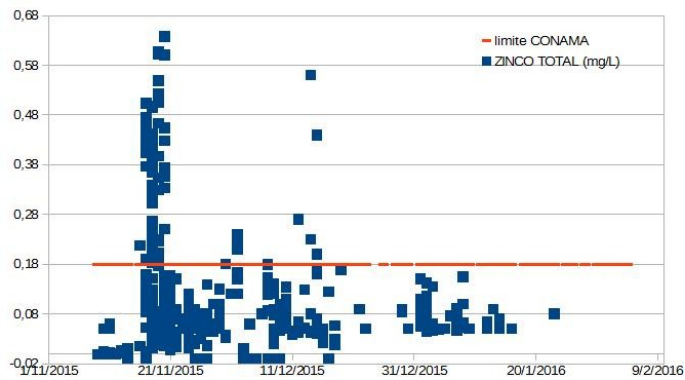
1.6 - MERCURIO TOTAL



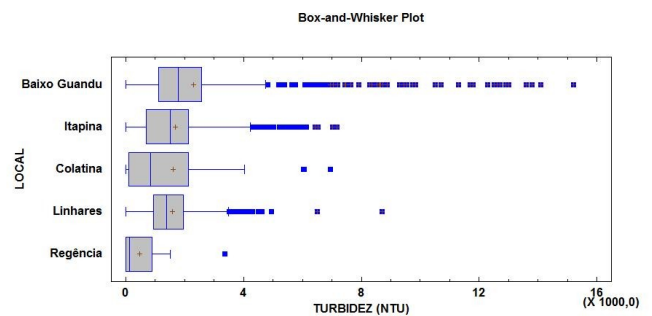
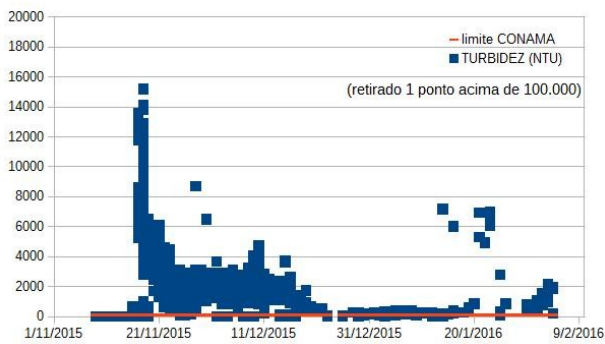
1.7 – OXIGÊNIO DISSOLVIDO



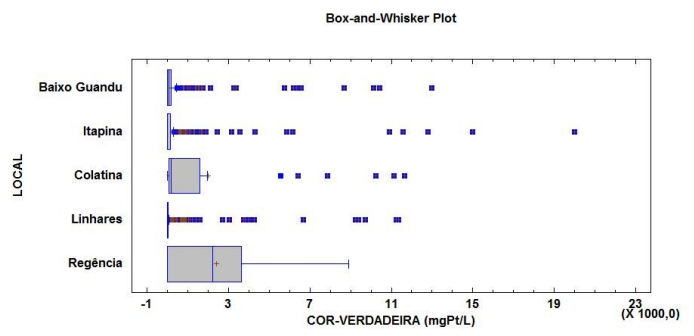
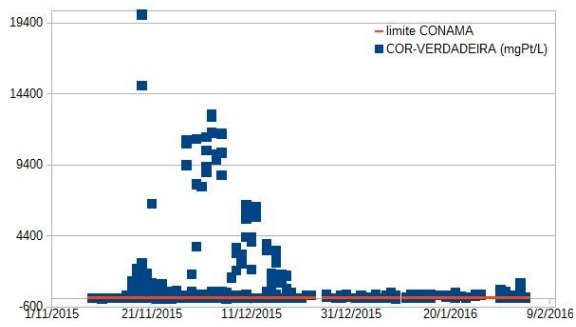
1.8 – ZINCO TOTAL



1.9 – TURBIDEZ



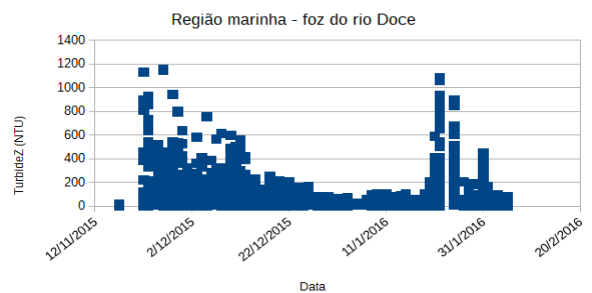
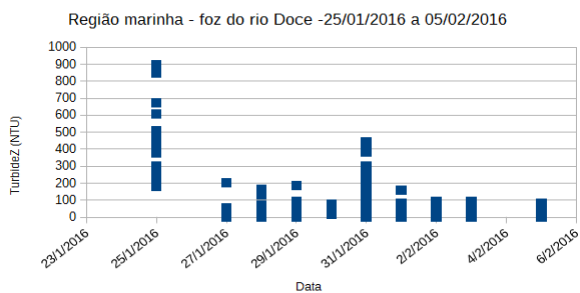
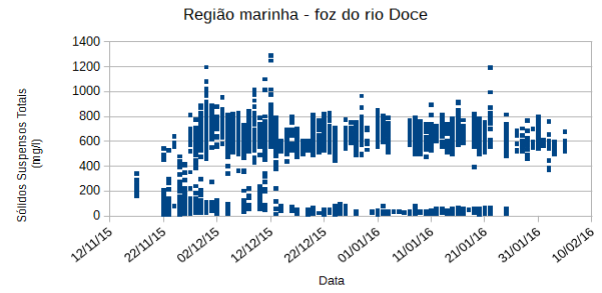
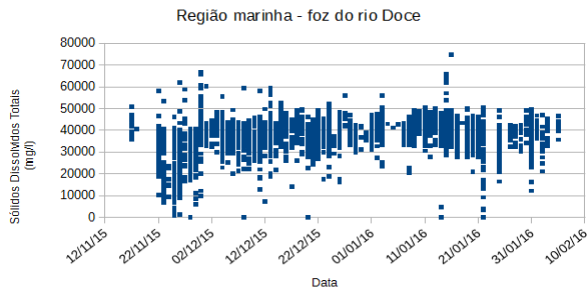
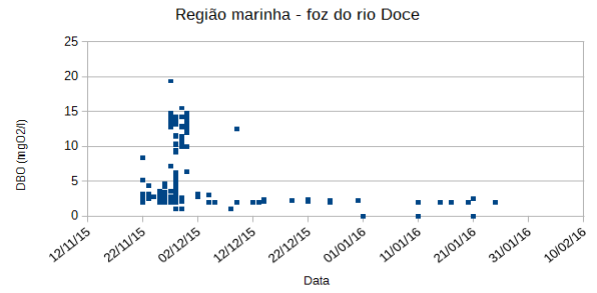
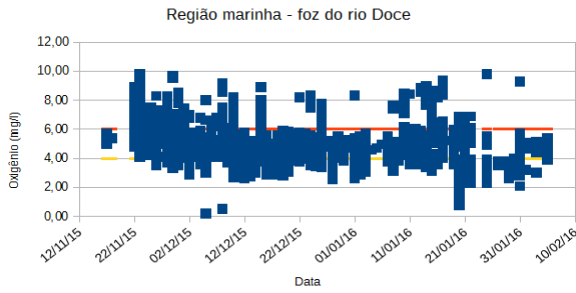
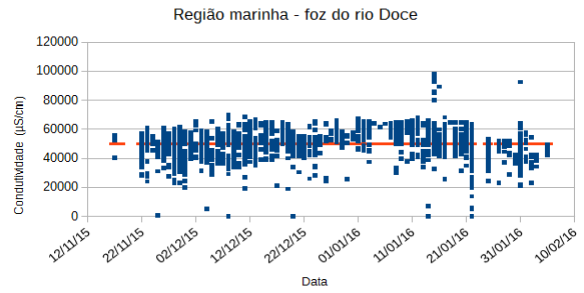
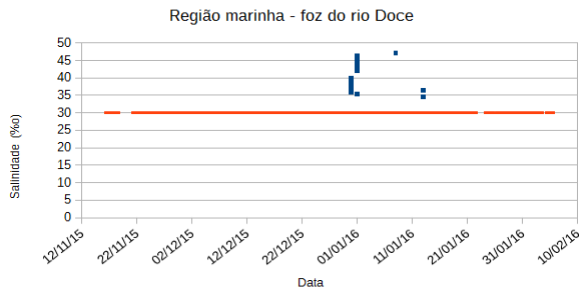
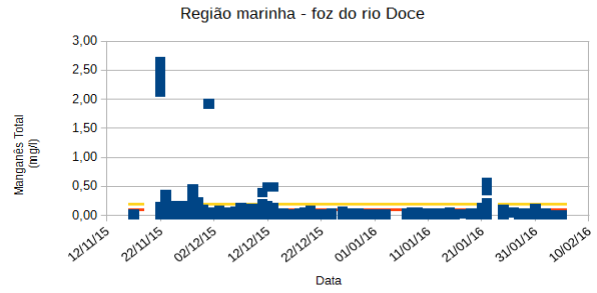
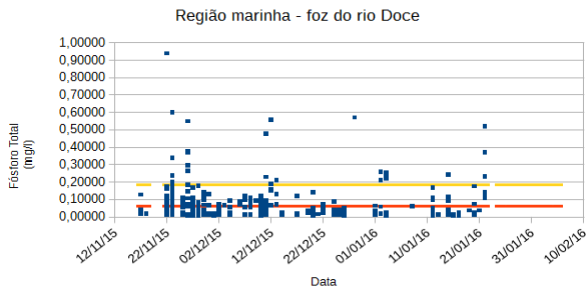
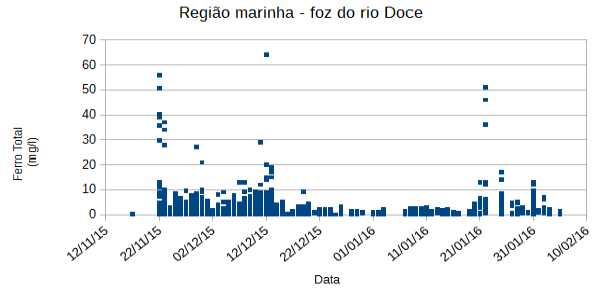
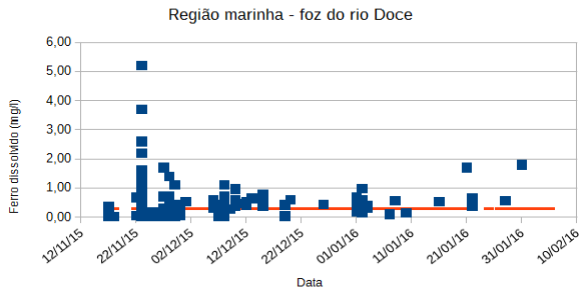
1.10 – COR VERDADEIRA



2- Gráficos de resultados de análises de água no mar

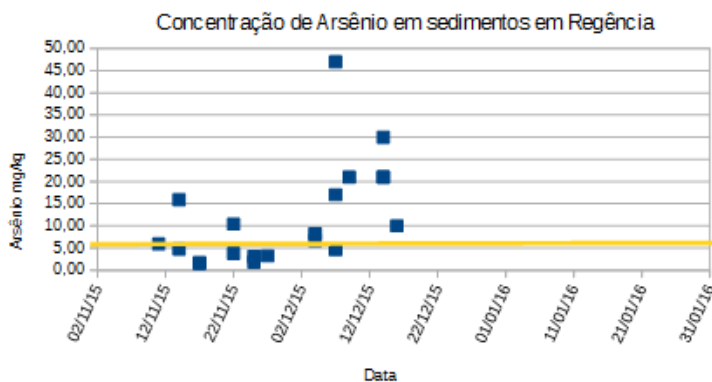
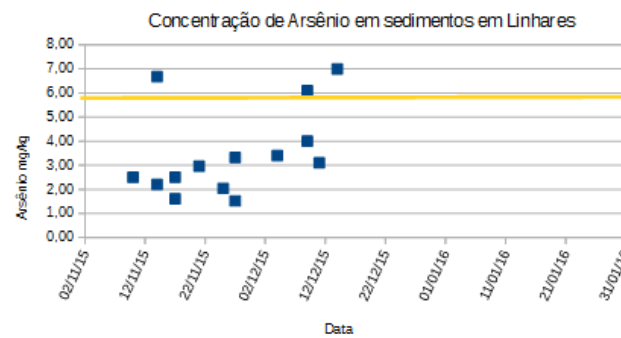
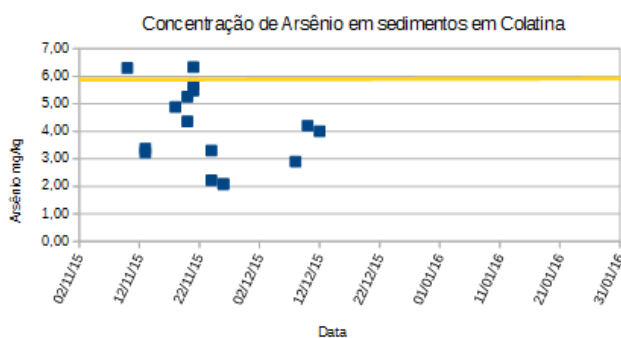
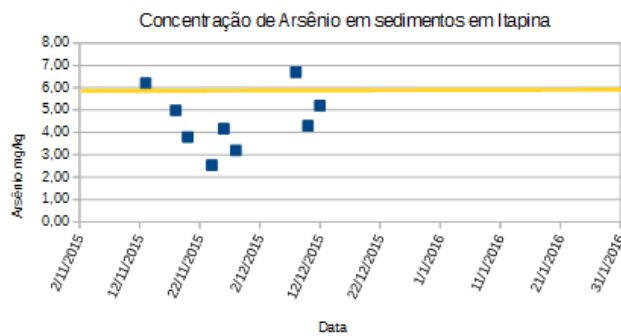
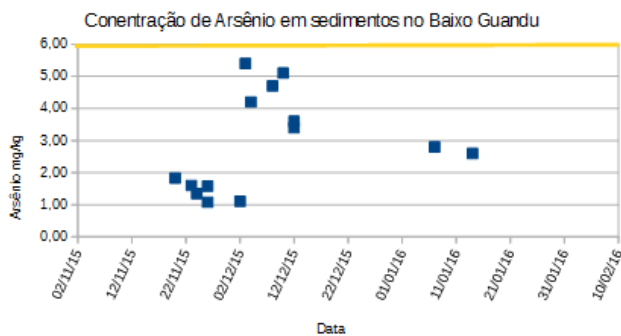
Concentração de Arsênio, Cadmio, Chumbo, Mercúrio, Zinco, Coliformes Termotolerantes, Ferro dissolvido, Ferro total, Fósforo total, Manganês total, Salinidade, Condutividade, Oxigênio dissolvido, DBO, Sólidos dissolvidos totais, Sólidos suspensos totais e Turbidez para todo o período e para o período de 25/01/2016 a 05/02/2016, para amostras de água do mar, coletadas nas estações amostrais 1E, 2E, 1N, 2N, 1S, 2S, RP1, e Seções IA, IB, II, III, IV entre os dias 09 de novembro de 2015 e 27 de janeiro de 2016, tendo como referência em amarelo, quando existente, o limite preconizados na RESOLUÇÃO CONAMA 454/2012 para água salgada classe 1 e água salobra classe 2.

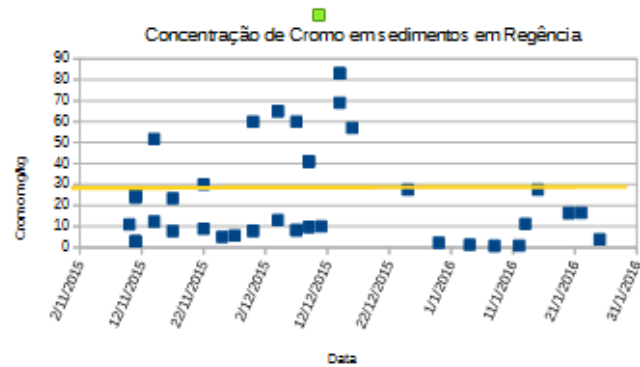
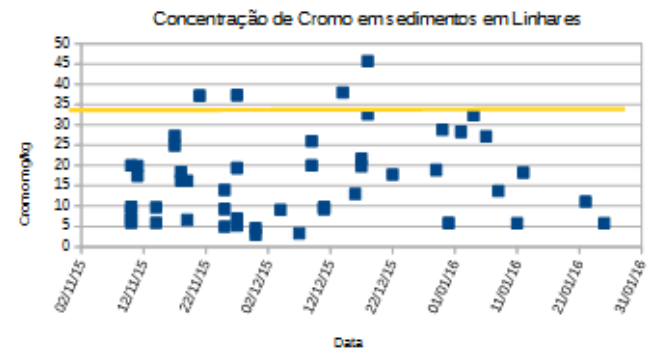
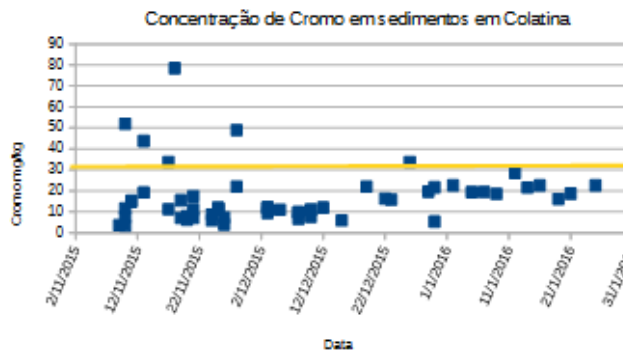
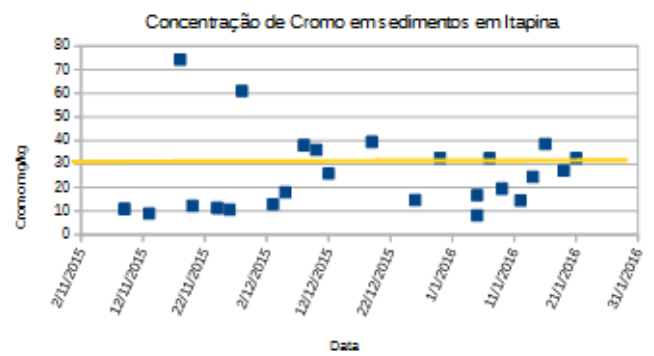
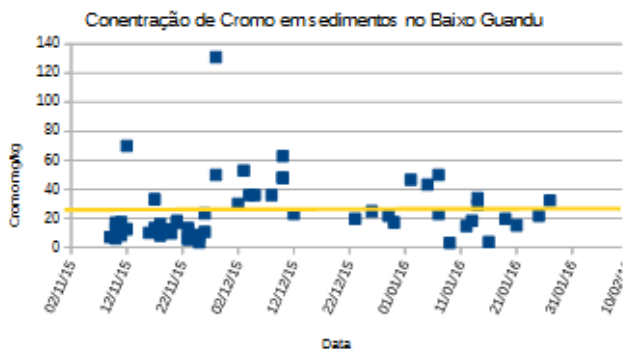


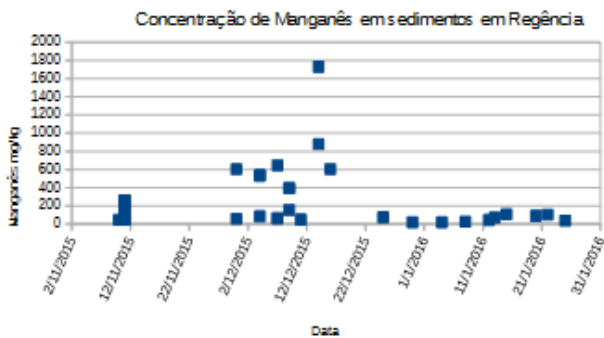
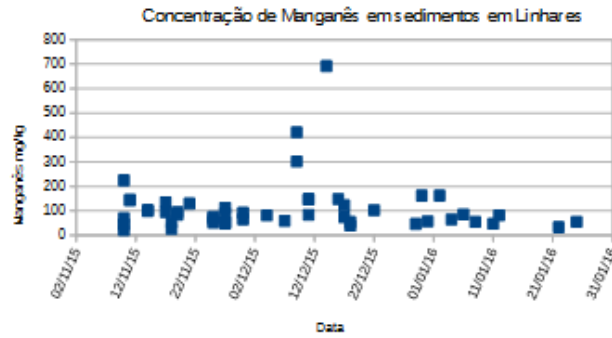
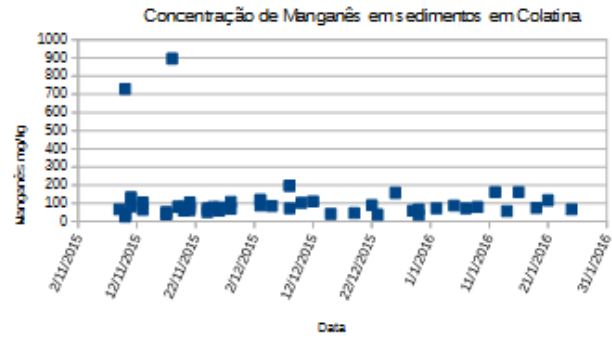
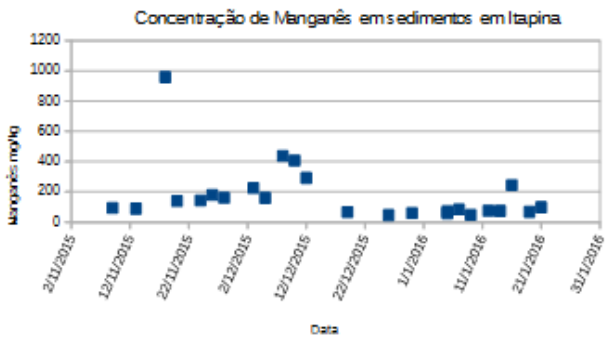
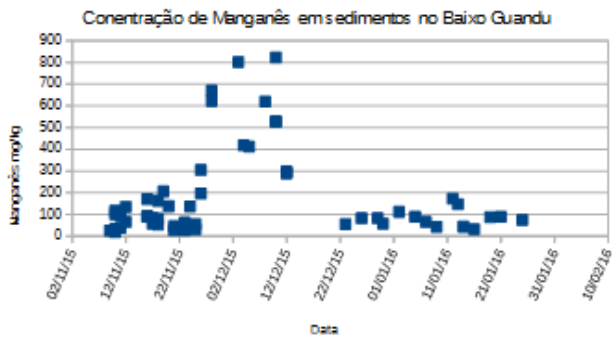


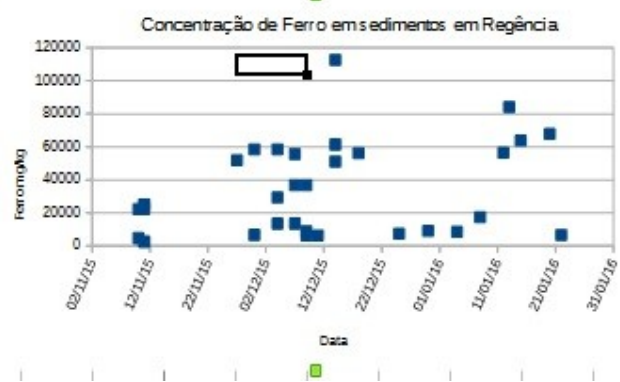
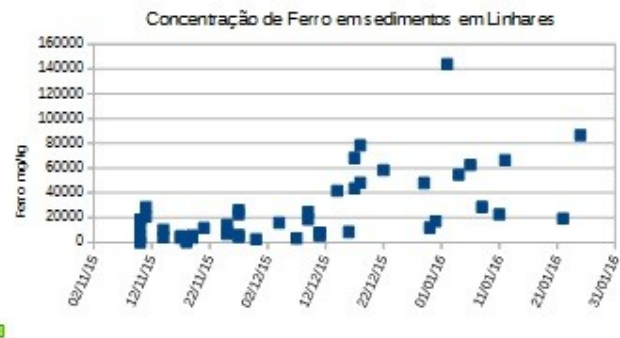
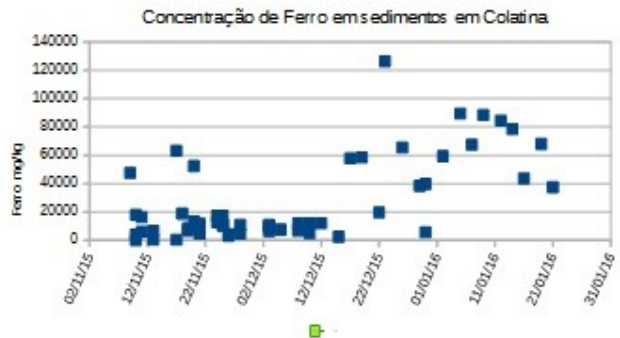
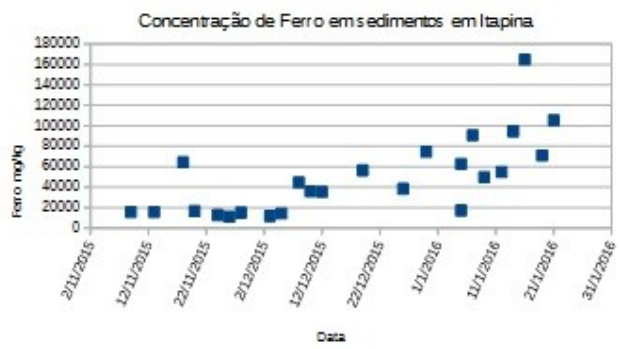
3- Gráficos de resultados de análises de sedimentos no Rio Doce.

Concentração de Arsênio, Cromo, Manganês, Ferro, Níquel, Zinco e Chumbo, em sedimentos do rio Doce, agrupadas por local e por data de coleta, tendo como referência em amarelo, quando existente, o limite preconizados na RESOLUÇÃO CONAMA 454/2012 para a classe 1.

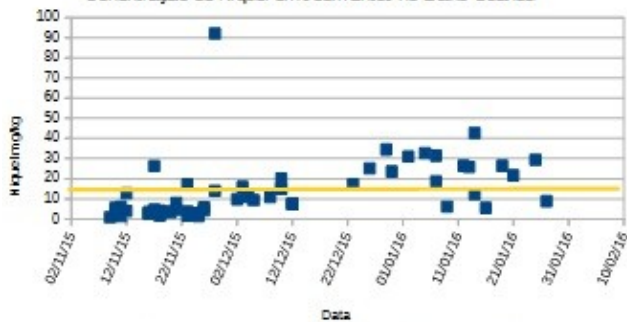




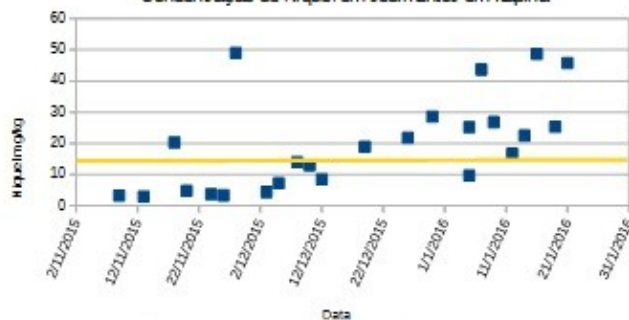




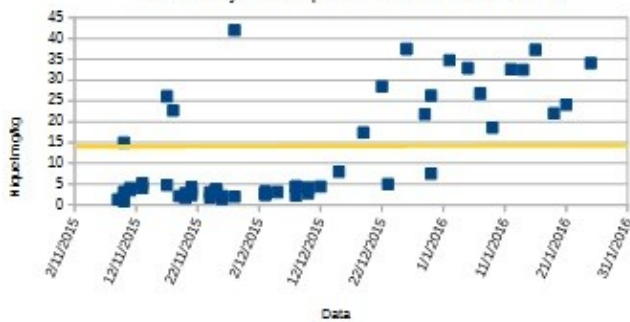
Concentração de Níquel em sedimentos no Baixo Guandu



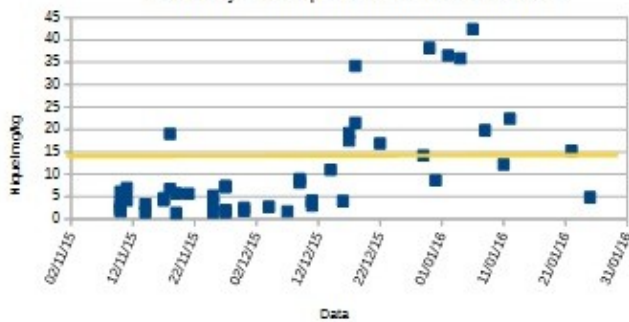
Concentração de Níquel em sedimentos em Itapina



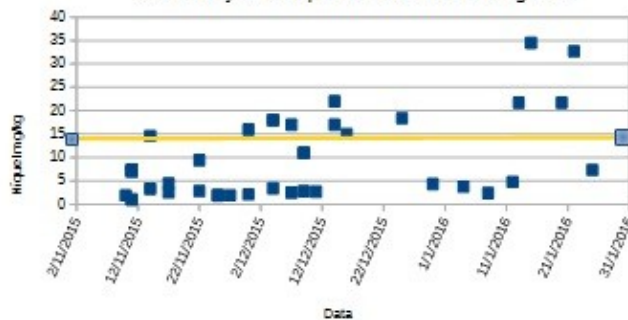
Concentração de Níquel em sedimentos em Colatina

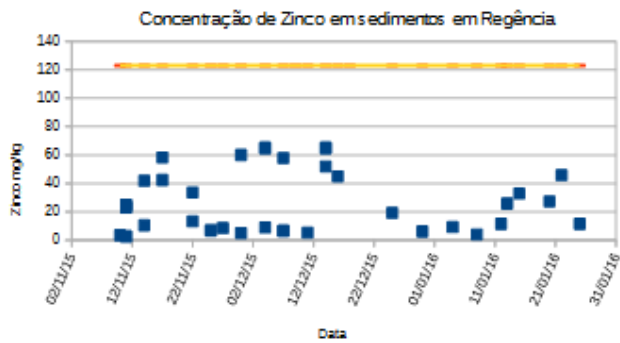
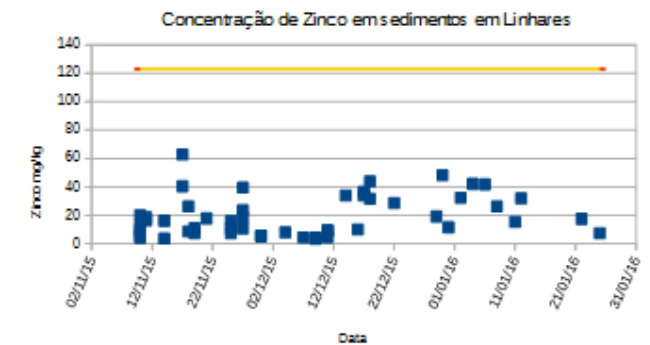
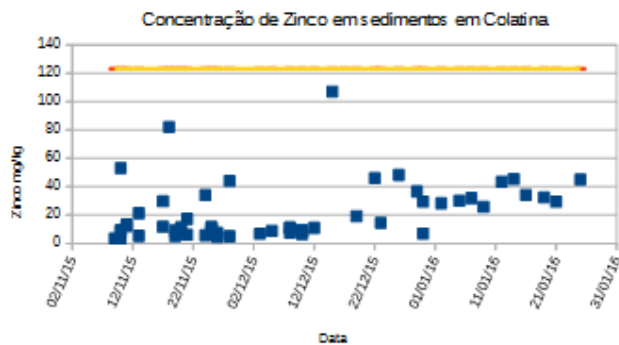
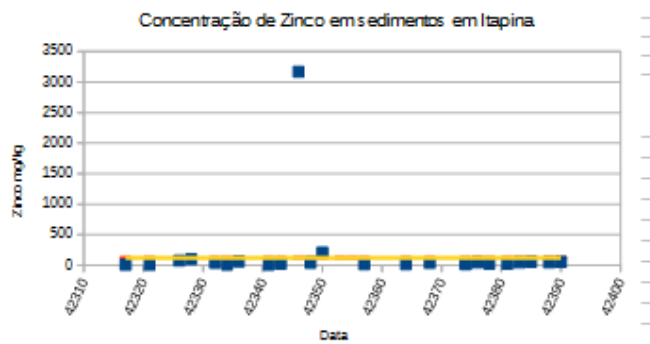
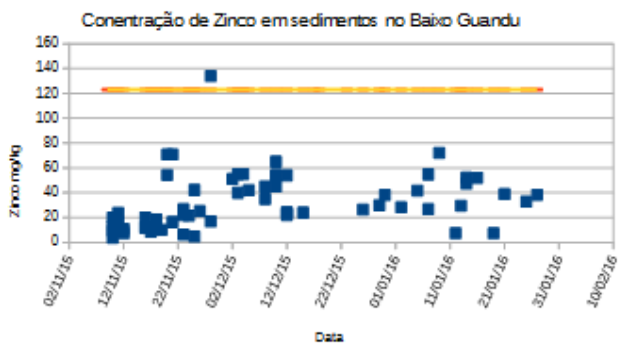


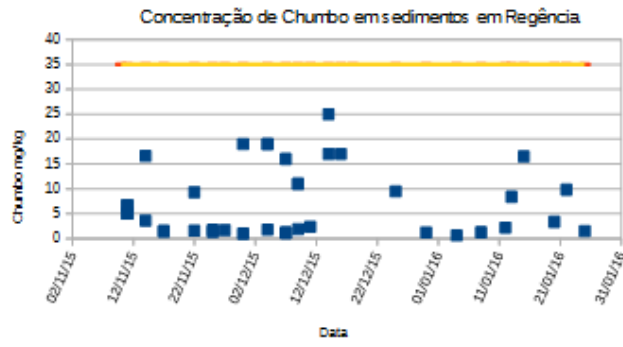
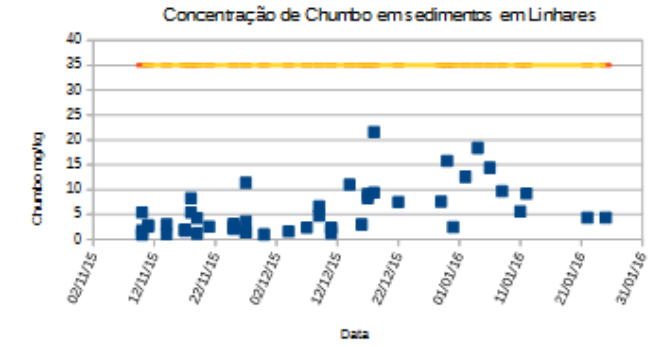
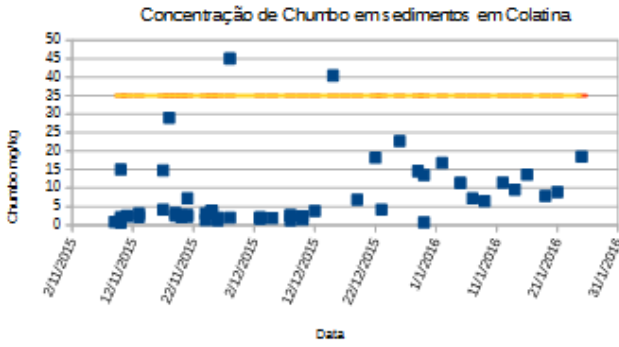
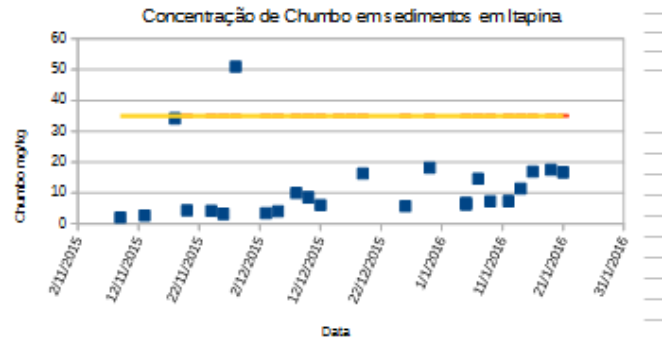
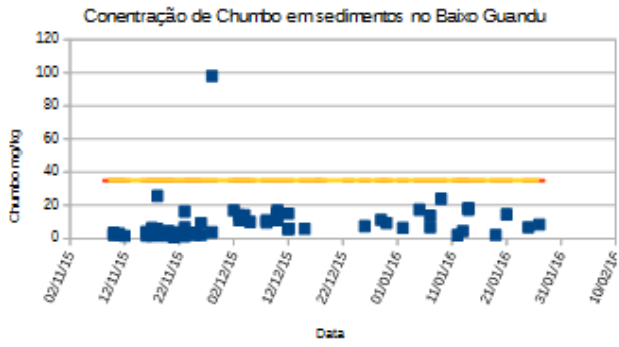
Concentração de Níquel em sedimentos em Linhares



Concentração de Níquel em sedimentos em Regência







4 - Gráficos de resultados de análises de sedimentos no mar

Concentração de Arsênio, Chumbo, Cobre, Cromo, Níquel, e Zinco na seção IV, no mar, próximo a foz do rio Doce. A linha amarela indica o limite preconizados na RESOLUÇÃO CONAMA 454/2012 para a classe 1.

