

## MONITORAMENTO DA SEDIMENTAÇÃO NO PARQUE NACIONAL MARINHO DOS ABROLHOS E REGIÕES RELACIONADAS (ANEXO 8)

### 1. EQUIPE TÉCNICA

Nome	Função	Instituição
Heitor Evangelista da Silva	Doutor II - Coordenador do Anexo 8 Coordenação geral de todas as atividades da parte analítica/mineralógica, sensoriamento remoto e atividades de campo	UERJ
Claudio de Morisson Valeriano	Doutor II - Vice- Coordenador do Anexo 8 Coordenação das atividades relacionadas a análises dos isótopos radiogênicos e mineralogia	UERJ
Gilberto da Silva Vaz	Técnico de Nível Superior Processamento físico e químico das amostras	UERJ
Leonardo Monteiro	Técnico Nível Médio Processamento básico de dados (sensoriamento remoto)	UERJ
Marcela Lobato	Pós Doutorado Acompanhamento das análises em espectrômetro de massa	UERJ
Newton de Magalhães Neto	Pós-Doutorado Processamento e detalhamento das análises por sensoriamento remoto	UERJ
Anna Beatriz Jones Oaquim	Mestre Análise da saúde de corais	UERJ
Carla Cristine de Aguiar Neto	Mestre Análise da saúde de corais	UERJ
Iniciação Científica	Pesquisador	UERJ/CAP
Iniciação Científica	Pesquisador	UERJ/CAP

### 2. ESCOPO

O Anexo 8 trata do monitoramento oceânico para a região do Parque Nacional Marinho (PARNAM) dos Abrolhos em vista de sua importância ecológica e do risco potencial de os rejeitos provenientes do rompimento da Barragem de Fundão cheguem ao arquipélago dos Abrolhos. Este monitoramento é proposto para acontecer em duas partes: (1) buscar uma calibração para imagens de satélite (Landsat, Sentinel e MODIS Terra 220 m) para o parâmetro MPS (Material Particulado em Suspensão) e gerar mapas que mostrem a evolução temporal deste parâmetro entre a foz do Rio Doce e Abrolhos); (2) monitorar, em caráter sazonal, o material particulado em suspensão no mar e a sedimentação na região, visando determinar a assinatura geoquímica do material aportado ou ressuspensionado. No que tange a esse material, o objetivo é determinar se os principais contribuintes do material sedimentar encontrado na região provêm da foz do rio Doce, do rejeito proveniente da barragem de Fundão e/ou do estuário de Caravelas (BA). O estudo de sedimentação é considerado fundamental para se caracterizar a existência de impacto na região de Abrolhos pela presença de elementos associados ao rejeito. Por isso, entende-se que este estudo deve preceder os demais monitoramentos e balizar ações futuras. Como o ICMBio mantém programa de monitoramento para avaliação da saúde dos recifes de coral em algumas Unidades de Conservação marinhas, incluindo o PARNAM Abrolhos, seguindo o protocolo Reef Check, este Anexo definiu que este monitoramento deve ser executado em pontos de amostragem já utilizados por aquele monitoramento para permitir a compatibilização de resultados e análises. O estudo prevê a adição de pontos-controle cujo material sedimentar também (ou potencialmente) pode chegar a Abrolhos tal como o material sedimentar do estuário de Caravelas, erosão do próprio recife de corais e seu embasamento vulcânico e materiais aportados pela corrente do Brasil

localizados a norte de Abrolhos. Além disso será feita uma melhor caracterização do Rio Doce e de seu curso impactado.

### 3. OBJETIVO

Em 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem do Fundão, da mineradora Samarco, em Mariana (MG), com o lançamento de 34 milhões de m<sup>3</sup> cúbicos de rejeitos no meio ambiente, composta principalmente por óxido de ferro e sílica em uma região de cabeceira da bacia hidrográfica do rio Doce (SIGHR, 2015). A pluma de águas turvas chegou à foz 16 dias após o rompimento da barragem, em 21 novembro e estudos realizados na época demonstraram que a mancha de materiais em suspensão atingiu uma área de aproximadamente sete mil km<sup>2</sup>. A Figura abaixo apresenta imagens de satélite da região da foz do Doce obtidas em diferentes datas, antes e após o evento em Mariana.

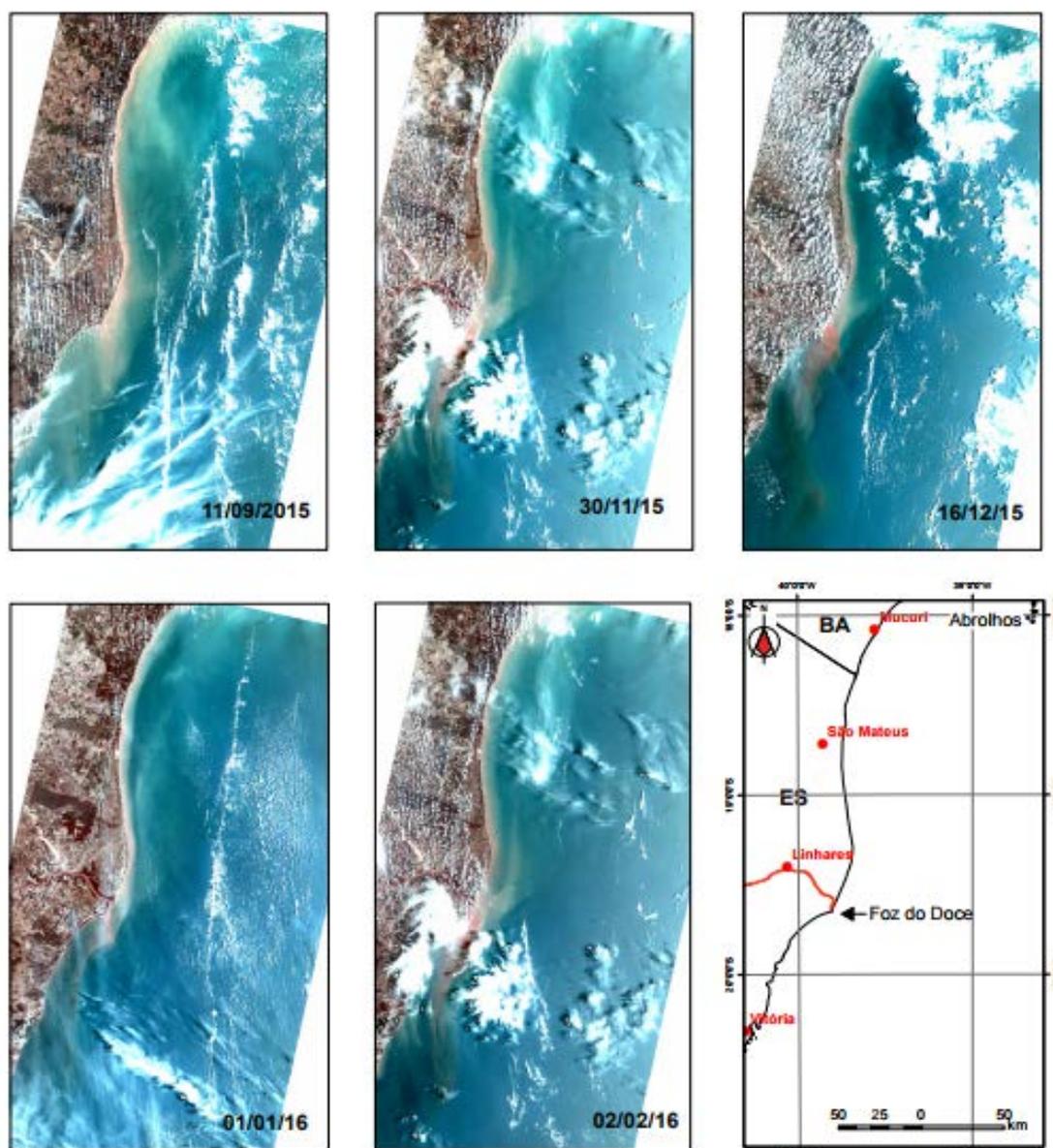


Figura 1 - Série temporal de imagens do satélite Landsat da região da foz do Doce. Fonte: SIGHR, 2015.

Assim, devido à proximidade do rio Doce com o PNM de Abrolhos, e a importância ecológica da referida UC, que é considerada como um refúgio do Pleistoceno, devido às características arcaicas de suas espécies, indicando que a "fauna coralina terciária foi preservada em um refúgio, na costa do Brasil, durante

os níveis baixos do mar no período glacial" (LEÃO,1983), apresenta-se a referida proposta de levantamento e monitoramento. Objetiva-se neste Anexo: (1) definir uma assinatura geoquímica, baseada em isótopos radiogênicos, de origem para a pluma de rejeitos proveniente da barragem de Fundão. Tal objetivo contemplará análise de material sedimentar coletado em Abrolhos, na Foz do Rio Doce em áreas potencialmente contribuintes para o sedimento que chega a Abrolhos; (2) buscar uma calibração de imagem de satélite para o parâmetro MPS entre a Foz do Rio Doce e Abrolhos.

#### 4. METAS E JUSTIFICATIVAS

##### **Meta 1- Definição de assinatura geoquímica/(por isótopos radiogênicos) do material de rejeito proveniente da barragem de Fundão na área oceânica**

A estratégia metodológica básica adotada por este grupo de trabalho objetiva definir uma assinatura geoquímica de origem para a pluma de sedimentos da lama de rejeitos da Samarco em relação a outras áreas da zona costeira em torno da foz do Rio Doce. Os minerais e as rochas tem razões distintas de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  e  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , de acordo com a derivação geológica. Estas razões isotópicas estão menos sujeitas a outras interferências e fontes do que os elementos químicos como o Fe, Ti e Al. No estudo hidrológico as diferenças na composição isotópica do Sr e Nd no material particulado em suspensão carregados pelos rios que alimentam os oceanos, revelam uma sobreposição de assinaturas, refletindo a heterogeneidade das rochas fontes na escala de cada bacia de drenagem (WALTER et al., 2000; GOLDSTEIN & JACOBSEN, 1988). Para se identificar a proveniência continental de sedimentos a combinação das assinaturas dos isótopos radiogênicos  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  e  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  é uma das mais qualificadas, devido, entre outros fatores, suas razões típicas em determinados domínios geológicos (LEE et al., 2010). Essas razões estão pouco sujeitas ao fracionamento isotópico decorrente do intemperismo quando aplicado aos estudos de curta escala de tempo (GAIERO et al., 2004). Além disso, a composição dos isótopos radiogênicos de Sr e Nd da litosfera são significativamente diferentes do manto, o que permite a distinção entre as suas origens litológicas das zonas vulcânicas jovens e dos velhos escudos continentais, (GROUSET & BISCAYE, 2005). Análises elementares por MEV+EDS em micropartículas na coluna d'água e no sedimento complementarão o estudo.

##### **Meta 2- Investigação quanto a presença/ausência de micropartículas com enriquecimento anômalo de Fe na coluna d'água**

Os dados dos isótopos radiogênicos de certa amostra, é o resultado de um processo de mistura de diversas fontes minerais distintas. Desta forma, para que seja alcançada uma resolução na qual seja observável uma "mudança" na assinatura natural de um conteúdo mineral é necessário que tal mistura ocorra em quantidades mensuráveis. Isto significa que pequenas quantidades da lama de rejeito poderiam ser misturadas as amostras sedimentares de Abrolhos, sem que haja alteração significativa da "assinatura radiogênica". Assim, empregou-se as análises de MEV+EDS, que é uma técnica que investiga as micropartículas de forma individual e desta forma é possível investigar se qualquer resíduo de lama está presente em Abrolhos.

##### **Meta 3- Calibrar imagens de satélite com cobertura espacial Foz do Rio Doce-Abrolhos para o parâmetro MPS**

O uso de sensoriamento remoto no mapeamento da concentração de sedimentos em suspensão em estuários é relativamente bem estabelecido para uma variedade de ambientes. Um método clássico é baseado na refletância medida na porção do infravermelho (600-700 nm). Essa abordagem é razoavelmente robusta em águas costeiras e interiores visto que a contribuição dos materiais suspensos na coluna d'água dominam os espectros de reflectância quando comparados por exemplo a absorção pelo fitoplâncton. O MODIS 1 fornece cobertura no espectro infravermelho na banda 620–670 nm com uma sensibilidade suficiente para estudos de águas oceânicas. Dado suas características, sua resolução espacial média (250 m), reflectância na banda infravermelha, alta sensibilidade e cobertura diária, sugerem a adequação de uso para avaliar partículas em suspensão na superfície do mar. Sua validação ocorrerá a partir de medidas in situ por medidas realizadas em sucessivos cruzeiros entre a Foz do Rio Doce e Abrolhos. Esta metodologia é baseada em Miller e McKee (2004; *Remote Sensing of Environment*). Análises empregando imagens LANDSAT e Sentinel também serão realizadas neste estudo.

##### **Meta 4- estabelecer rotina sazonal de monitoramento sedimentar em Abrolhos**

Pretende-se neste projeto estabelecer rotinas para armadilhamento de sedimentos em Abrolhos visando as análises específicas do projeto e criar um banco de amostras que será disponibilizado a comunidade científica para outros estudos pertinentes. Serão empregadas técnicas de coleta automática com

resolução mensal de coleta e serão instalados sistemas de integração sazonal do sedimento sendo estes distribuídos em várias localidades de Abrolhos.

## 5. PRODUTOS

<b>5.1. DADOS BRUTOS</b> <i>(Listar os dados que serão entregues como produto, segundo o TR4, tanto os coletados in situ como os processados no laboratório)</i>	<b>RESPONSÁVEL</b> <i>(Pessoal Vinculado)</i>
Processamento básico de dados para sensoriamento remoto, download de imagens, arquivo digital, implementação de sistema de leitura ótica das amostras	Leonardo Monteiro (Técnico Nível Médio)
Análise da saúde de corais (pré-processamento de amostras de coral)	Anna Beatriz Jones Oaquim (Mestre)
Pré-processamento físico de amostras de sedimentos e corais	Carla Cristine de Aguiar Neto
Apoio a parte analítica e processamento de dados (sub-amostragem de corais para análise elementar)	Mariane Pullig (Iniciação Científica)
Apoio a parte analítica e processamento de dados (sub-amostragem de corais para análise elementar)	Gustavo Abraham (Iniciação Científica)
Apoio a parte analítica (análise de amostras por DRX) e processamento de dados	Andressa Leal (Iniciação Científica)
Apoio a parte analítica em geral	João Coutinho Bachelos (Iniciação Científica)
Processamento físico e químico das amostras	Gilberto da Silva Vaz (Técnico de Nível Superior)

<b>5.2. ANÁLISE DE DADOS</b> <i>(Relacionar as análises que serão feitas e entregues até o 15º mês de vigência do Projeto)</i>	<b>RESPONSÁVEL</b> <i>(Pessoal Vinculado)</i>
Identificação de assinatura isotópico para sedimentos coletados em Abrolhos, sensoriamento remoto e logística das atividades de campo	Heitor Evangelista da Silva (Prof. Doutor II - Coordenador do Anexo 8)
Identificação de assinatura isotópica, descrição geológica, mineralogia e contextualização das influências sedimentares em Abrolhos	Claudio de Morisson Valeriano (Prof. Doutor II - Vice- Coordenador do Anexo 8)
Sensoriamento remoto para o parâmetro MPS (acompanhamento temporal)	Newton de Magalhães Neto (Pós-Doutorado)
Controle de qualidade de análises de isótopos radiogênicos	Marcela Lobato (Pós Doutorado)

A análise final terá como uma comparação com dados pretéritos existentes na região de Abrolhos.

## 6. METODOLOGIA

A Tabela 1 apresenta os pontos de coleta e o que será analisado em cada ponto em relação as análises sedimentares.

para monitoramento da sedimentação no PARNAM de Abrolhos e região

Pontos de Amostragem	Coordenadas UTM ( <i>datum</i> SIRGAS2000)	
	E	N
<b>Arquipélago dos Abrolhos</b>		
Portinho Sul	531801,78	8013808,42
Língua da Siriba II	530156,14	8013005,57
<b>Parcel dos Abrolhos</b>		
Chapeirão do Pierre	534920,2	8013852,91
Chapeirão da Berna	534785,02	8012257,76
<b>Parcel Coroa Vermelha</b>		
1 - Sul Coroa Vermelha	470464,9	8010444,49
2 - Norte Coroa Vermelha	484376,35	8019762,64
<b>Sul do Arquipélago</b>		
Abrolhos 1	532581,37	8009234,23
Abrolhos 2	533965,89	8010645,59
<b>Arco Interno de Abrolhos</b>		
Viçosa	472709,66	8010686,73
Coroa Vermelha	478706,48	8012876,15
<b>Pontos-controle</b>		
Recife de Fora	501511	8187064,06
Coroa Alta	508907,42	8211551,77

**NOTA:**

EM VERDE: COLETA DE ÁGUA DE SUPERFÍCIE

EM AMARELO: COLETA DE ÁGUA DE SUPERFÍCIE + ESTAÇÕES DE SEDIMENTOLOGIA

### 6.1. Micro-análise por MEV+EDS

Para a análise morfológica e elementar das micropartículas para sedimentos finos, será empregado um microscópio eletrônico de varredura (MEV) acoplado a um espectrômetro de energia dispersiva (EDS) modelo Spectroscopy Si/Li Oxford instalado e operacional na Uerj. A imagem obtida pelo MEV é gerada por elétrons secundários gerados como resultado da interação de um feixe de elétrons incidentes com a superfície de uma micropartícula selecionada em seu campo de visão. A composição elementar das partículas foi obtida a partir da análise do espectro gerado pela detecção dos raios-X produzidos pela interação do feixe de elétrons incidentes sobre a superfície da partícula. Cada elemento produz raios-X em faixas de energia específicas, de tal maneira que a análise elementar se torna possível para a identificação de elementos com número atômico superior a 10 ( $Z > 10$ ). Esta técnica permite que a análise elementar seja feita de forma pontual ou por uma área determinada, de acordo com a abertura utilizada para incidência do feixe de elétrons sobre a amostra. Neste método, alvos foram confeccionados com diâmetros de aproximadamente 1 cm contendo material particulado. Tais alvos foram previamente investigados ao MEV para se selecionar partículas com morfologias predominantes, sobre as quais foram realizadas as microanálises elementares. Para tal, nesta abordagem preliminar, foram selecionadas um total de 9 partículas, onde se determinou as abundâncias relativas de C, O, Si, Al, Fe, Ti, Ca, Cl, Zn, Cu, K, Mg e Na. Considerando que o substrato para as análises de EDS é um policarbonato, os valores de abundância relativa destes elementos foram corrigidos para a exclusão de C nas amostras. Nesta técnica, se obtêm dados de abundâncias relativas para micro-partículas escolhidas nas amostras.

## 6.2. Análise de isótopos radiogênicos

O Samário (Sm) e o Neodímio (Nd) são ETR (Elementos terras raras) leves do grupo dos lantanídeos. Ocorrem como elementos-traço nos minerais formadores de rocha. A concentração de ambos em silicatos cresce na medida que a cristalização do magma evolui. Nas rochas ígneas, a concentração é proporcional com o grau de diferenciação magmática (FAURE, 1986). O elemento estrôncio (Sr) está presente como traço (medido em ppm) na maioria das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, entretanto a concentração desse elemento raramente ultrapassa a 1%. O Sr participa na formação do carbonato estroncionita e do sulfato celestita, os quais são encontrados em alterações hidrotermais e rochas sedimentares como nos carbonatos (GERALDES, 2010). O elemento Sr pode formar diversos minerais próprios, dos quais somente a estroncionita ( $\text{SrCO}_3$ ) e a celestita ( $\text{SrSO}_4$ ) tem abundâncias significativas. O Sr apresenta quatro isótopos de ocorrência natural:  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$  e  $^{88}\text{Sr}$  (não radiogênicos) e  $^{87}\text{Sr}$  (radiogênico). As razões isotópicas  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  versus  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  quando descritas num plano cartesiano são usadas como referência para estudos de proveniência.

Para a realização das análises isotópicas é necessário ter cuidados muito especiais nas diversas etapas do processo analítico. Por se tratar de ETR os procedimentos foram conduzidos em sala limpa classe 100 e os ácidos e água utilizados são todos bidestilados em equipamento de purificação por destilação *sub-boiling* para obtenção de reagentes de alta pureza. As amostras foram submetidas a secagem em estufa por 3 dias a  $60^\circ\text{C}$ . A seguir o material é quarteado e peneirado em malha de #200 (0,074mm). A fração fina é submetida a digestão ácida a partir da técnica já estabelecida por GIOIA (2010). Após esta etapa iniciou-se os procedimentos para separação de Sr e ETR em colunas com resinas de troca iônica, primárias para separação de Sr e ETR, e secundárias para a separação de Nd.

Os resíduos provenientes da separação de Sr e Nd foram depositados em filamentos de rênio para determinação das razões isotópicas em um espectrômetro de massa multicoletor por ionização térmica (TIMS) TRITON - Thermo Finnigan. A espectrometria baseia-se na ionização de amostras por meio térmico através de uma injeção corrente elétrica em que os feixes de íons produzido são focalizados e acelerados por uma diferença de potencial para atravessar um campo magnético e são separados por suas diferenças de massa criando uma trajetória individual para serem coletados por copos Faraday e contadores de íons (SEM e MIC). Todas as análises são realizadas utilizando o arranjo de filamento duplo devido à grande facilidade do Nd e Sr serem oxidados. Com isso o filamento de ionização é aquecido a uma elevada corrente para dissociar molécula de oxigênio garantindo a medida dos isótopos de Nd sob a forma de metal.

A interpretação dos dados dos isótopos radiogênicos é baseada num diagrama formada pela razão isotópica de neodímio no eixo-Y e pela razão isotópica de estrôncio no eixo-X. Cada grupo mineral ocupa um setor dentro de tal diagrama e desta forma pode-se avaliar se uma determinada amostra tem suas razões isotópicas inseridas em algum domínio específico formado por potenciais contribuintes.

## 6.3. Razão elementar Fe/Mn

A composição mineralógica dos rejeitos do beneficiamento do minério de ferro é essencialmente sílica (quartzo), óxidos de ferro (hematita  $\text{FeO}$  e magnetita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e argilominerais. Outras substâncias minerais podem ter sido arrastadas do entorno dos leitos pela corrente formada, além do acréscimo de elementos ou substâncias as mais variadas, incluindo metais pesados, que já contaminavam o leito dos rios (e a água) - boa parte dos esgotos das cidades são despejados sem tratamento, além dos produtos químicos utilizados normalmente na agricultura (fertilizantes NPK). A caracterização química dos rejeitos do beneficiamento do minério na mina vizinha da Samarco (Alegria) mostra apenas traços de Zn, Cu e Pb. O metal predominante é Fe, com cerca de 50%, seguido de Mn (um associado do Ferro nas formações ferríferas) com aproximadamente 20%, presentes na forma de óxidos.

Com a colaboração do Projeto Coral Vivo (amostragem de água do mar) e da FURG (análise elementar global), a Uerj foi possível até aqui obter uma compilação das razões Fe:Mn na fração dissolvida da água do mar. Tais análises referem-se a campanha de Janeiro de 2016. Esta razão foi escolhida por se tratar dos elementos majoritários presentes no minério da Samarco (com exceção do Si) e por terem padrões de solubilidade diferenciados. A determinação dos metais foi realizada por ICP-OES (Espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado). Estes dados possibilitaram uma comparação direta com as medidas deste mesmo parâmetro realizadas pela CPRM no Rio Doce antes e após o acidente de Mariana. O resultado da comparação evidenciou que as razões Fe:Mn para a lama de minério da Samarco é significativamente menor, com pico em torno de 0,5, comparada com as razões dos sedimentos em Abrolhos com valores entre 50 e 100, Figura 2. Desta forma, esta razão mostrou-se potencialmente boa para a monitoração em Abrolhos e investigar o aporte de material da foz do Rio Doce. A continuidade do projeto permitirá um banco de dados mais robusto e utilizar as razões Fe:Mn como um potencial indicador do material de rejeito nas águas costeiras.

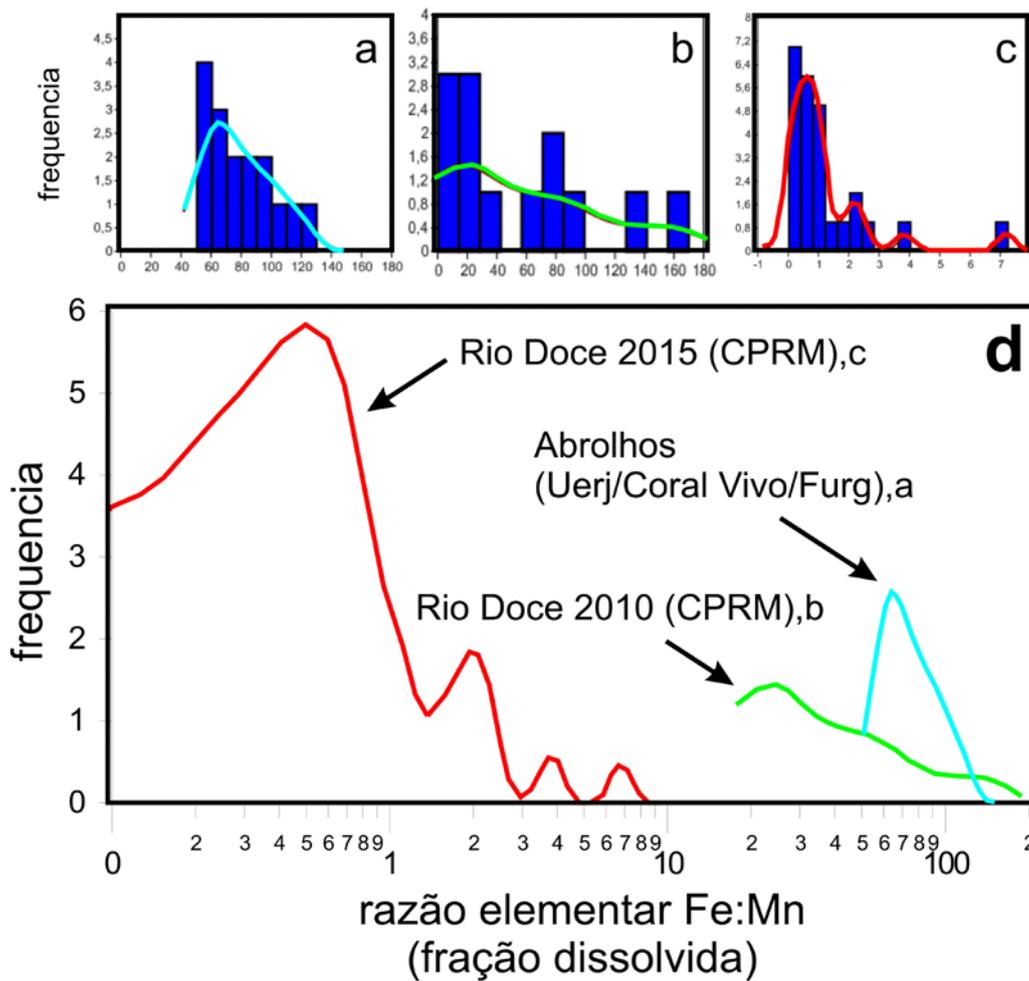
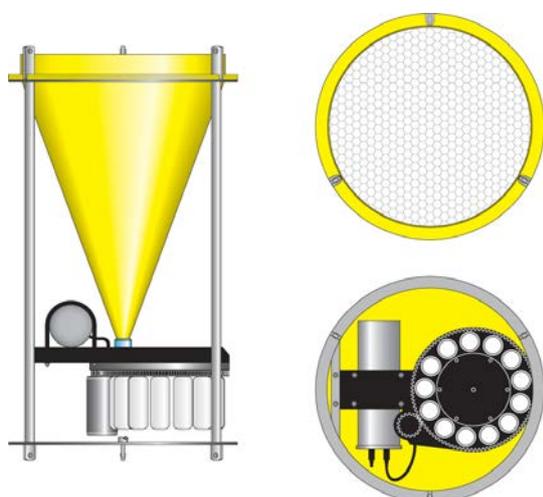


Figura 2 - Razões elementares de Fe:Mn (fração dissolvida) para amostras da Bacia do Rio Doce e Abrolhos-BA.

#### 6.4. Monitoramento sedimentológico

Serão empregadas técnicas de armadilhamento de sedimentos em Abrolhos visando as análises específicas do projeto. Serão empregadas técnicas de coleta automática com resolução mensal a partir de um sistema de roseta a ser instalado próximo ao substrato recifal (Figura 3) e armadilhas convencionais para integração sazonal do sedimento sendo estes distribuídos em várias localidades de Abrolhos. Será também testado um sistema com bóia de fundeio com 4 armadilhas dispostas verticalmente na coluna d'água em profundidades equidistante dentro de uma profundidade total de 20 m. Para um acompanhamento contínuo da variabilidade da turbidez, será instalado um CTD com turbidímetro em uma estação em Abrolhos, a ser definida.



as.



Figura 3 - Sistemas de amostragem sedimentar a serem empregados no projeto. Acima, armadilhas de sedimentos para integração sazonal; abaixo sistema de troca mensal automática.

## 7. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANDRONIKOV, A. V. et al. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic systematics of the East Antarctic Manning Massif alkaline trachybasalts and the development of the mantle beneath the Lambert-Amery rift. *Mineralogy and Petrology*, v. 63, p. 243-261, 1998.

BASU, A. R. et al. Nd, Sr-isotopic provenance and trace element geochemistry of Amazonian foreland basin fluvial sands, Bolivia and Peru: implications for ensialic Andean orogeny. *Earth and Planetary Science Letters*, n. 100, p. 1-17, 1990.

CARLSON, R. W. et al. Chemical and isotopic relationships between peridotite xenoliths and mafic-ultrapotassic rocks from Southern Brazil. *Chemical Geology*, v. 242, p. 415-434, 2007.

DAMMSHÄUSER A. et al. Atmospheric supply of Al, Fe and Ti to the Atlantic Ocean. *Geophysical Research Abstracts*, v. 13, p. EGU2011-10076, 2011.

DECKART, K. et al. Geochemistry and Sr, Nd, Pb isotopic composition of the Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) in Guyana and Guinea. *Lithos*, v. 82, p. 289-314, February 2005.

- FAURE G. 1986. Principles of Isotope Geology. John Wiley & Sons, United States, 588 pp
- FAURE G. Principles of Isotope Geology. John Wiley & Sons, United States, p.588, 1986
- FERREIRA, V. P. et al. Contrasting sources and P-T crystallization conditions of epidote-bearing granitic rocks, northeastern Brazil: O, Sr, and Nd isotopes. Lithos, v. 121, p. 189-201, 2011.
- GAUDETTE, H. E. et al. Geochronology of Precambrian rocks from the northern part of the Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. Journal of South American Earth Science, Vol. 9, Nos 3/4, p. 183-195, 1996.
- GERALDES M. C. Introdução à Geocronologia. Sociedade Brasileira de Geociências, São Paulo, p. 146, 2010
- GIRARD, V. A. V. et al. Sr Nd constraints and trace-elements geochemistry of selected Paleo and Mesoproterozoic mafic dikes and related intrusions from the South American Platform: Insights into their mantle sources and geodynamic implications. Journal of South American Earth Sciences, v. 41, p. 65-82, 2013.
- GOLDSTEIN, S.J.; Jacobsen, S.B. Nd and Sr isotopic systematics of river suspended material: implications for crustal evolution. Earth Planet. Sci. Lett, v. 87, p. 249–265, 1988
- GORRING, M. L. et al. Mantle processes of sources of neogene slab window magmas from Southern Patagonia, Argentina. Journal of Petrology, v. 42, n. 6, p. 1067-1094, 2001.
- GUARINO et al. U–Pb ages, Sr–Nd- isotope geochemistry, and petrogenesis of kimberlites, kamafugites and phlogopite-picrites of the Alto Paranaíba Igneous Province, Brazil. Chemical Geology. v.353, p. 65-82, 2013.
- HAMMER, O. et al. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica.v. 4, n.1, p 178, 2001.
- IACUMIN, M. et al. Early proterozoic calc-alkaline and middle proterozoic tholeiitic dyke swarms from central-eastern Argentina: Petrology, geochemistry, Sr-Nd isotopes and tectonic implications. . Journal of Petrology, v. 42, n. 11, p. 2109-2143, 2001.
- JAMBERS W. et al. Characterization of Particulate matter from the Kara Sea using electron probe X-ray micro analysis. Physicochemical and Engineering Aspects. v.120, p. 61-75, 1997.
- NETO, C.C.A. et al. Composição Isotópica do Sr no Padrão NBS987 e nos Padrões de Rocha do USGS BCR-1, AGV-1, G-2 E GSP-1: Resultados preliminares obtidos por TIMS no Laboratório de Geocronologia e Isótopos Radiogênicos – LAGIR – UERJ, Rio de Janeiro. Simpósio 45 anos de Geocronologia no Brasil – CPGeo- IGc – USP. Boletim de Resumos Expandidos, p. 72-74, 2009
- PARADA, M. A. et al. Multiple sources for the Coastal Batholith of central Chile (31–34°S): geochemical and Sr–Nd isotopic evidence and tectonic implications. Lithos, v. 46, p. 505-521, 1999.
- PIMENTEL, M. M. et al. Shrimp U-Pb age and Sr-Nd isotopes of the Morro do Baú mafic intrusion: implications for the evolution of the Arenópolis volcano-sedimentary sequence, Goiás Magmatic Arc. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, v. 75, n. 3, p. 331-339, 2003.
- ROCHA-JÚNIOR, E. R. V. Sr-Nd-Pb isotopic constraints on the nature of the mantle sources involved in the genesis of the high-Ti tholeiites from northern Paraná Continental Flood Basalts (Brazil). Journal of South American Earth Sciences, v. 46, p. 9-25, March 2013.
- SILVA, D. R. A. et al. Whole-rock geochemistry and Sr e Nd isotopic composition of the pre-rift sequence of the Camamu Basin, northeastern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, n. 39, p. 59-71, 2012.
- VALERIANO C.M. et al. A new TIMS laboratory under construction in Rio de Janeiro, Brazil. In: IV South American Symposium on Isotope Geology, Salvador. Short Papers IV South American Symposium on Isotope Geology. Salvador,v. 1, p. 131-133, 2003

YOUNG, D. N. et al. Geochemical and Sr-Nd isotopic mapping of source provinces for the Mawson charnockites, east Antarctica: implications for Proterozoic tectonics and Gondwana reconstruction. *Precambrian Research*, v. 86, p. 1-19, 1997.

WALTER, A. V. et al. Rare-earth elements and isotopes (Sr, Nd, O, C) in minerals from the Juquiti carbonatite (Brazil): tracers of a multistage evolution. *Chemical Geology*, n. 120 p. 27-44, 1995.

WALTER, H. J. W. et al. Provenance and transport of terrigenous sediment in the South Atlantic Ocean and their relations to glacial and interglacial cycles : Nd and Sr isotopic evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 64 n. 22, p. 3813–3827, 2000.