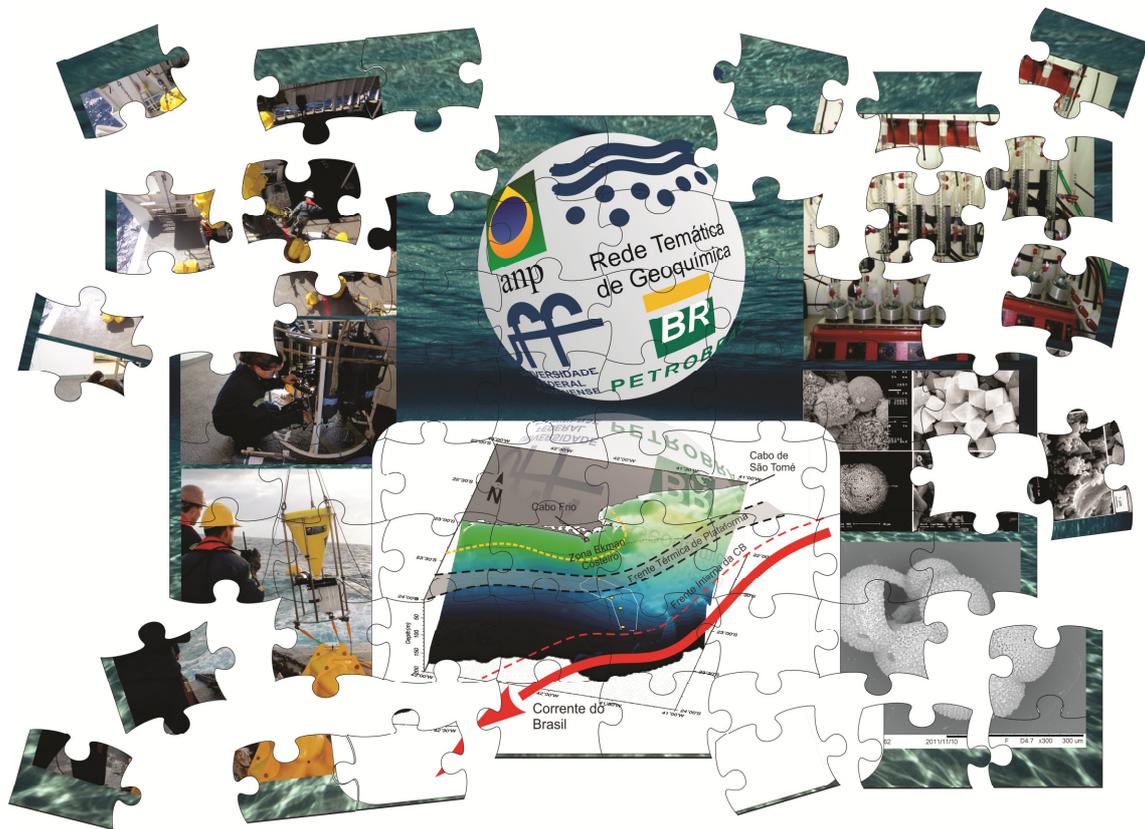




PROJETO RESSURGÊNCIA

2º Relatório Científico

Período de 13/07/2013 até 15/03/2014



Niterói – RJ, Março de 2014

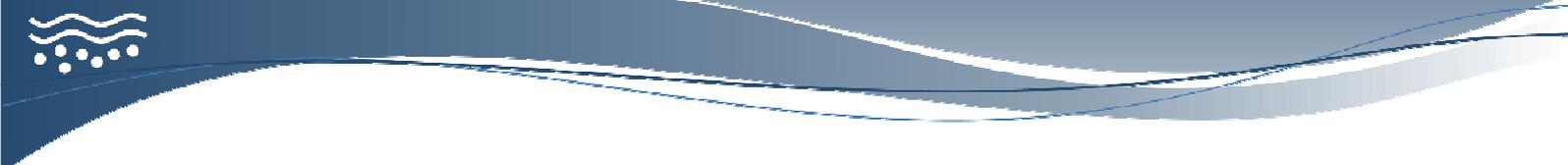
Rede Temática
de Geoquímica

anp



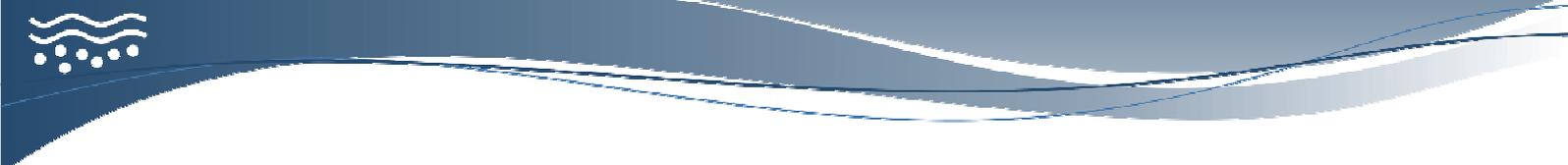
uff

PETROBRAS



Conteúdo

Dados do Projeto	3
Equipe Executora	4
Projeto Ressurgência.....	6
2º Relatório Científico.....	9
Introdução	10
Etapa EO01 - Acoplamento Físico-biogeoquímico na Coluna d'água: Recuperação do Fundeio F-150#06 e lançamento do #07 e Etapa EO07 - Geoquímica Marinha e fluxo de particulados de Cabo Frio.....	12
Etapa Científicas Planejadas EO04, EO05 e EO06	18
Etapa EO08 - Caracterização geoquímica das massas d'água – Programa Waterhunters	22
Etapa EO09 - Paleoceanografia regional e variabilidade climática	27
Continuidade do projeto e perspectivas futuras	36
Produtividade científica do Projeto Ressurgência	37
Referências Gerais.....	43



Dados do Projeto

Termo de Cooperação: **0050.0080351.12.9**

Conveniente: Fundação Euclides da Cunha
Rua Miguel de Frias, 123
Icaraí, Niterói, Rio de Janeiro
CEP. 24.220-001
Tel.: 21 2109-1661

Executora: Universidade Federal Fluminense
Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental
Laboratório de Oceanografia Operacional e Paleoceanografia
Outeiro São João Baptista s/n.
Centro, Niterói, Rio de Janeiro
CEP. 24.020-015
Tel.: 21 2629-2197

Coordenação: Dra. Ana Luiza S. Albuquerque
SIAPE 11426985
Email: ana_albuquerque@id.uff.br
Tel.: 21 2629-2197 / 98081-4000

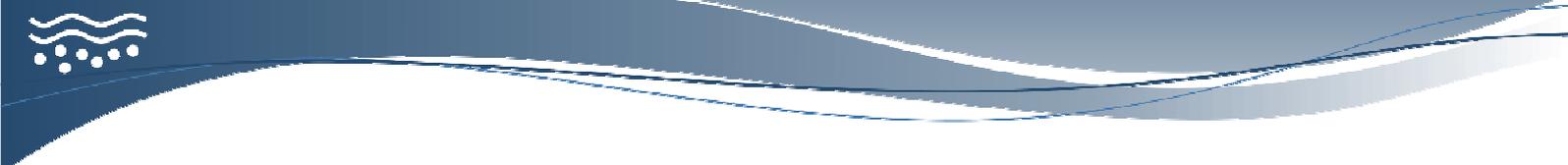
Equipe Executora

O Projeto Ressurgência tem contado com parcerias e colaborações científicas nacionais e internacionais de alto nível, as quais se refletem na produtividade científica do grupo. Estas parcerias científicas, aliadas ao caráter inovador das atividades realizadas no escopo do projeto, têm atraído um grande número de alunos, que buscam o Ressurgência para capacitação. Neste sentido, o Projeto Ressurgência tem sido reconhecido nacionalmente pelo seu forte potencial formador de recursos humanos na área de geoquímica marinha, conforme pode ser confirmado pela equipe listada abaixo.

NOME	INSTITUIÇÃO	ESPECIALIDADE	FUNÇÃO
Ana Luiza Albuquerque	UFF	Geoquímica sedimentar	Coordenadora
André Luiz Belem	UFF	Oceanografia	Pesq. Contratado
Lívia Huln Fenili	UFF	Oceanografia Química	Pesq. Contratada
Úrsula Maria Mendoza	UFF	Geoquímica inorgânica	Pesq. Contratada
Marcela Santos	UFF	Técnico Apoio	Téc. Contratada
Stephanie Di Chiara	UFF	Técnico Apoio	Téc. Contratada
Abdelfettah Sifeddine	UFF/IRD-França	Geoquímica sedimentar	Colaborador
Antonio E.G. Azevedo	UFBA	Física/Isótopos	Colaborador
Bastiaan Knoppers	UFF	Oceanografia	Colaborador
Catia F Barbosa	UFF	Foraminíferos	Colaborador
Emmanoel Vieira Filho	UFF	ETRs e metais	Colaborador
Marcelo C Bernardes	UFF	Geoquímica Orgânica	Colaborador
Maria R. Zucchi	UFBA	Física/Isótopos	Colaborador
Renato C Cordeiro	UFF	Sedimentologia	Colaborador
Renato Carreira	PUC	Geoquímica Orgânica	Colaborador
Wilson Machado	UFF	Biogeoquímica	Colaborador
NOME	INSTITUIÇÃO	ESPECIALIDADE	FUNÇÃO
Ioanna Boulubassi	LOCEAN-França	Geoquímica orgânica	Pesq. Associado
Michael Boettcher	IOW-Alemanha	Biogeoquímica do enxofre	Pesq. Associado
Phillip A. Meyers	UMichigan - EUA	Paleoceanografia	Pesq. Associado

(...continuação)

NOME	INSTITUIÇÃO	ESPECIALIDADE	FUNÇÃO
Douglas V.O Lessa	UFF	Foraminíferos	Pós-Doutor
Rut A. Diaz Ramos	UFF	Biogeoquímica enxofre	Doutoranda
Manuel Moreira	UFF	Biogeoquímica metais	Doutorando
Gabrielle Faria	UFF	Foraminíferos bentônicos	Mestranda
Igor Martins Oliveira	UFF	Foraminífero/Isotopia	Mestrando
Vitor Pereira Gomes	UFF	Foraminíferos	Mestrando
Pedro Paes Caldeira	UFRJ	Geocronologia isotópica	Bolsista grad.
Thiago Machado	UERJ	Foraminíferos	Bolsista grad.
Bruno Mello	UERJ	Foraminíferos	Bolsista grad.
Carolina Duarte	UFF	Geoquímica Marinha	Bolsista grad.
Wesley Faria Busch	UFF	Geoquímica Marinha	Bolsista grad.



Projeto Ressurgência

O Projeto Ressurgência Fase I (2009-2013) contribuiu significativamente com o conhecimento sobre os processos oceanográficos e biogeoquímicos da plataforma continental, através do monitoramento contínuo desde 2010 das condições oceanográficas na borda da plataforma com um fundeio oceanográfico, bem como os mecanismos que controlam a produção e deposição de partículas ao longo de toda plataforma continental. Através da coleta sistemática de dados geofísicos, testemunhos sedimentares, e variáveis físicas, o projeto concluiu na sua fase inicial o primeiro modelo conceitual sobre o acoplamento hidrodinâmico local/regional, a geoquímica do material particulado em suspensão, o processo de sedimentação e a diagênese sobre a plataforma (Figura 1), tanto no presente como no passado geológico recente (até 12.000 anos AP). A plataforma continental brasileira está inserida na borda oeste do oceano Atlântico Sul apresentando características oceanográficas clássicas de uma borda energética, com a intensificação de sua corrente de contorno, a Corrente do Brasil, principal responsável pela redistribuição de calor no Atlântico Sul e com forte ligação ao sistema climático global. Especificamente na região de Cabo Frio, o alinhamento da costa e da borda da plataforma divide fisicamente e geologicamente as duas das principais bacias produtoras de petróleo da costa brasileira, as Bacias de Campos e de Santos. A dinâmica oceanográfica desta região, portanto, controla os processos de transformação e exportação de material entre bacias, bem como apresenta uma característica singular em termos oceanográficos – a presença semi-permanente do fenômeno de ressurgência das Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS) sobre a plataforma continental, acompanhado pela mudança brusca do eixo da Corrente do Brasil e constituindo assim um dos únicos Sistemas de Ressurgência de Borda Oeste dos oceanos (W-BUS: *Western Boundary Upwelling System*).

A Fase II do Projeto Ressurgência tem seu foco no conhecimento dos mecanismos oceanográficos de meso-escala, tais como vórtices, o divergente do vento, a dinâmica da Corrente do Brasil e sua variabilidade como incentivadores da produtividade e do acúmulo de carbono na porção média da plataforma continental, tornando este local um depocentro de carbono orgânico. Além disso, a análise do material sedimentar mostra claramente a contribuição de múltiplas fontes para a composição do material particulado transportado e acumulado na plataforma continental em decorrência da hidrodinâmica

regional, o que confere uma alta variabilidade ao sistema, bem como um enorme potencial exportador da plataforma continental, além de permitir a impressão do sinal da variabilidade climática nos sedimentos da plataforma (Albuquerque et al., 2013a). Entre os resultados mais significativos da Fase I, o Projeto Ressurgência mostrou que o papel das massas d'água oxigenadas somado a ação dos organismos bioturbadores age de forma dinâmica no ciclo reoxidativo da matéria orgânica com conseqüente incorporação progressiva do enxofre na matriz orgânica (sulfidização da MO) na interface água-sedimento (Diaz et al., 2012). Além deste fato, os dados paleoceanográficos revelaram que as variações do nível do mar no limite Pleistoceno-Holoceno foram acompanhadas de características diversas de circulação, paleoambientes, aportes e processos geoquímicos na plataforma continental de Cabo Frio (Albuquerque et al., 2014).

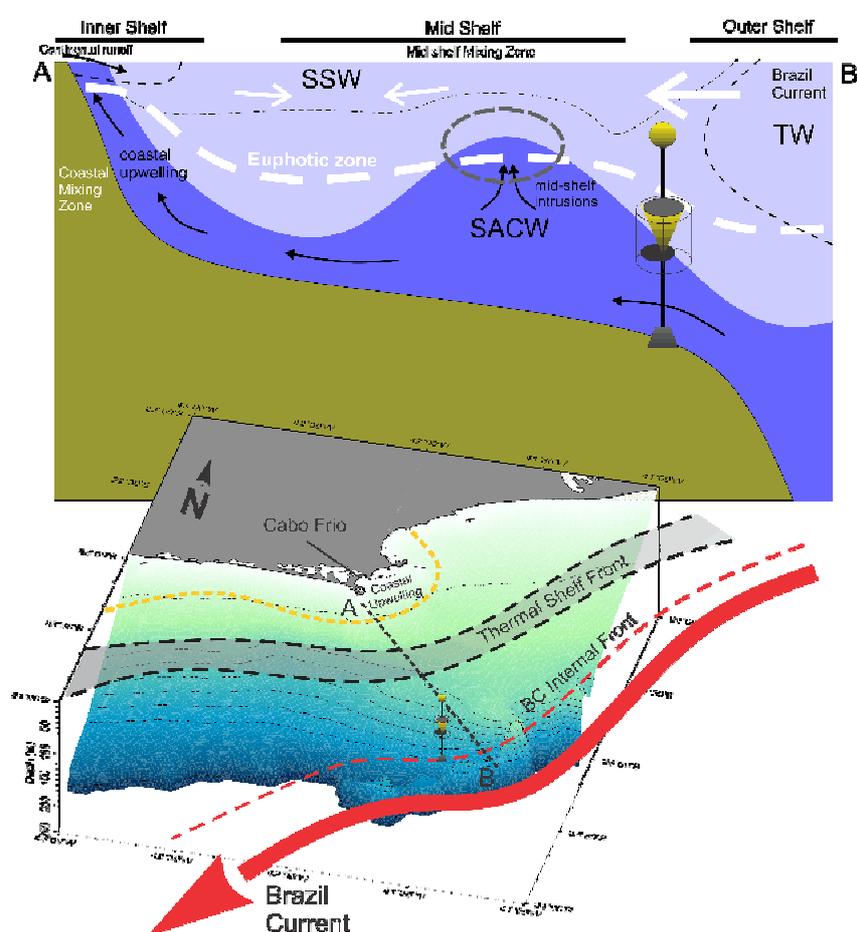
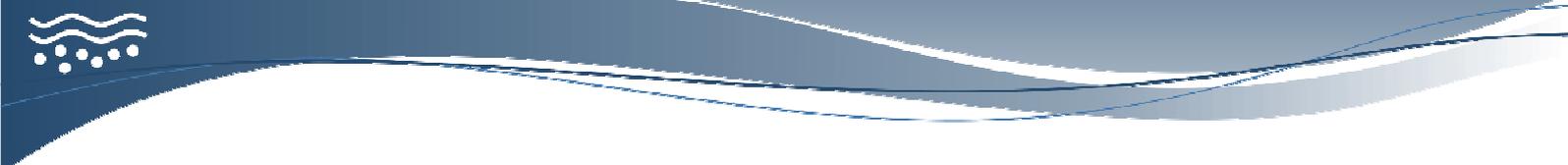


Figura 1 Modelo esquemático 3D dos processos oceanográficos mais importantes e que condicionam a dinâmica de deposição sobre a plataforma continental. A seção A-B está esquematizada acima, com a posição relativa do fundo F-150. Figura apresentada durante o Ocean Science Meeting 2014 em Honolulu (Albuquerque et al, 2014).

O Projeto Ressurgência Fase II, denominado neste documento de PR2, trata da continuidade estabelecida para o triênio 2013-2016 com foco na oceanografia da região



de Cabo Frio, como um análogo moderno de processos para construção de modelos conceituais em escalas geológicas diversas, fortalecendo nosso entendimento sobre os mecanismos de acoplamento físico e bio-geoquímico com a oceanografia regional. Além da continuidade do monitoramento da oceanografia local através de fundeios oceanográficos, o Projeto Ressurgência está dando continuidade à análise dos testemunhos longos (kullenbergs) coletados na plataforma continental, juntamente com o aumento da resolução espacial com testemunhos curtos (multicorer), para entender a variabilidade dos processos de acumulação de matéria orgânica ao longo do Holoceno e os mecanismos geoquímicos associados.

Com este histórico estabelecido e dentro dos objetivos traçados pelo Projeto Ressurgência, este relatório irá descrever as atividades técnico-científicas realizadas no período de Julho de 2013 até Março de 2014, com o mapeamento dos processos gerenciais (Relatório de Acompanhamento Gerencial – RAG) e seus resultados científicos parciais até agora obtidos (Relatório Científico – RC).

2º Relatório Científico

O 2º Relatório Científico (RC) tem como objetivo apresentar e comentar a execução das atividades de pesquisa propostas no Termo de Cooperação 0050.0080351.12.9 assinado entre a Petrobras e a Universidade Federal Fluminense, através da Fundação Euclides da Cunha, dentro do período relativo à Julho/2013 até Março/2014 e em consonância com o Relatório de Acompanhamento Gerencial (RAG). A tabela abaixo sumariza as atividades propostas no RAG e utilizadas no RC. As atividades marcadas com * serão discutidas neste RC. O PR2 segue a metodologia de Gerenciamento de Projetos, tanto na parte científica quanto na gerencial.

Tabela 1 Atividades Gerenciais e científicas do Projeto Ressurgência Fase II. As etapas são codificadas conforme o RAG, seguindo as abreviações PR=Planejamento/Remobilização, EO=Etapa Operacional, CR=Controle e END=Encerramento. As atividades científicas estão marcadas em negrito e com o código [AC] na coluna 3. O símbolo * marca as atividades científicas já iniciadas e descritas neste relatório.

ETAPA	STATUS	ATIVIDADES
PR01	Finalizada	Aquisição de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)
PR02	Finalizada	Licitação para Contratação de Serviços
PR03 *	Finalizada	[AC] Planejamento das estratégias de coleta, preservação e análises
PR04	Finalizada	Reunião Kickoff
PR05	Finalizada	Contratação da equipe executora
EO01 *	Contínuo	[AC] Acoplamento Físico-biogeoquímico na coluna d'água
EO02	Em Andamento	Aquisição de consumíveis em geral
EO03	Em Andamento	Aquisição de equipamentos e outros materiais permanentes
EO04	Planejada	[AC] Coleta de Sedimentos – Multicorer
EO05	Planejada	[AC] Coleta e análise da água intersticial e físico-química nos Multicores
EO06	Planejada	[AC] Análise das águas intersticiais - processos de diagênese
EO07 *	Contínuo	[AC] Geoquímica Marinha e fluxo de particulados de Cabo Frio
EO08 *	Contínuo	[AC] Caracterização geoquímica das massas – Waterhunters
EO09 *	Em Andamento	[AC] Paleoceanografia regional e variabilidade climática
EO10	Contínuo	Educação e Retro-alimentação cultural
EO11	Planejada	[AC] Modelagem de Processos Diagenéticos
CR01	Planejada	Reuniões Trimestrais de acompanhamento
CR02	Planejada	Reuniões Anuais de acompanhamento
END	Planejada	Encerramento formal do Projeto

Introdução

A ressurgência é um fenômeno oceanográfico caracterizado pelo afloramento de águas frias e ricas em nutrientes provenientes de níveis mais profundos na coluna d'água, produzindo como efeito principal, um aumento na produtividade biológica (Rocha et al., 2006). Na costa S-SE do Brasil ocorrem as principais áreas de ressurgência da borda oeste do Atlântico Sul, sendo a região de Cabo Frio (RJ) a que possui a maior intensidade e constância. A ressurgência de Cabo Frio é sazonal e intermitente (Carbonel, 2003, Mazzini e Barth, 2013, Palóczy et al., 2014), sendo marcada pela ocorrência e mistura de três massas de água: Água Costeira – caracterizada principalmente por sua baixa salinidade (AC: $T > 15\text{ }^{\circ}\text{C}$; 32-34 de salinidade; <50 m de profundidade) e resultante do aporte continental na zona costeira; Água Tropical, caracterizada pelas altas temperatura e salinidade (AT: $T \sim 24\text{-}28\text{ }^{\circ}\text{C}$; ~ 37 de salinidade; 0-200 m de profundidade e comumente encontrada offshore), que representa a massa d'água superficial e oligotrófica transportada pelo ramo sul da Corrente do Brasil (CB); e Água Central do Atlântico Sul – caracterizada pelas baixas temperaturas e menores salinidades (ACAS: $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$; 35-36,4 de salinidade), representando a massa d'água rica em nutrientes, transportada pela CB entre 200-600m de profundidade e que ascende ocasionalmente na superfície em diferentes porções da costa brasileira, produzindo o fenômeno de ressurgência costeira em Cabo Frio (Franchito et al., 2008; Silveira et al., 2008).

A dinâmica oceanográfica desta região tem sido bastante discutida na literatura desde a década de 70 (Mascarenhas et al., 1971; Ikeda et al., 1974; Miranda & Castro Filho, 1979; Carbonel, 2003; Rodrigues & Lorenzetti, 2001; Castelao & Barth, 2006; Franchito et al., 2008; Castelao, 2012; Belem et al., 2013) abordando, principalmente os mecanismos que possibilitam a ocorrência em Cabo Frio de um sistema de ressurgência costeira atípico de borda oeste. Recentemente, Mazzini e Barth (2013) e Castro (2014) definiram que a área de Cabo Frio funciona de forma clássica, onde a intrusão da ACAS sobre a plataforma continental e a geração do movimento divergente nas camadas superficiais são tipicamente identificadas em outras áreas de ressurgência da margem oeste do Atlântico Sul (Palma e Matano, 2009), embora a inflexão da linha costa em CF promove uma dinâmica distinta. Diferentes estudos têm atribuído a ocorrência da ressurgência costeira de Cabo Frio a quatro fatores principais: (1) a mudança brusca da orientação da costa que passa de uma direção norte-sul para leste-oeste e conseqüentemente

alterando a geometria da plataforma continental adjacente permitindo o controle topográfico do fluxo; (2) o regime de ventos na região sobre a plataforma, com foco sobre o divergente do vento na região; (3) a instabilidade do eixo da Corrente do Brasil (CB) que permitem formação de meandros que condicionam a entrada da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) sobre a plataforma; e (4) a presença de vórtices sobre a plataforma. A conjunção destes fatores possibilita tanto o afloramento da ACAS na zona costeira (Coelho-Souza et al., 2012), como também sua intrusão na zona eufótica na plataforma média, o que não representa um processo de ressurgência sensu stricto (pois não há afloramento da ACAS à superfície), mas produz seus efeitos biogeoquímicos (Brandini, 1990; Campos et al., 2000). Segundo Kampel et al. (1997) as plumas produtivas originadas pela ressurgência de Cabo Frio se projetam para sudoeste a partir da Ilha de Cabo Frio como extensão variável entre 150 e 400km (Figura 2) produzindo inclusive uma “fertilização” na Baía de Santos.

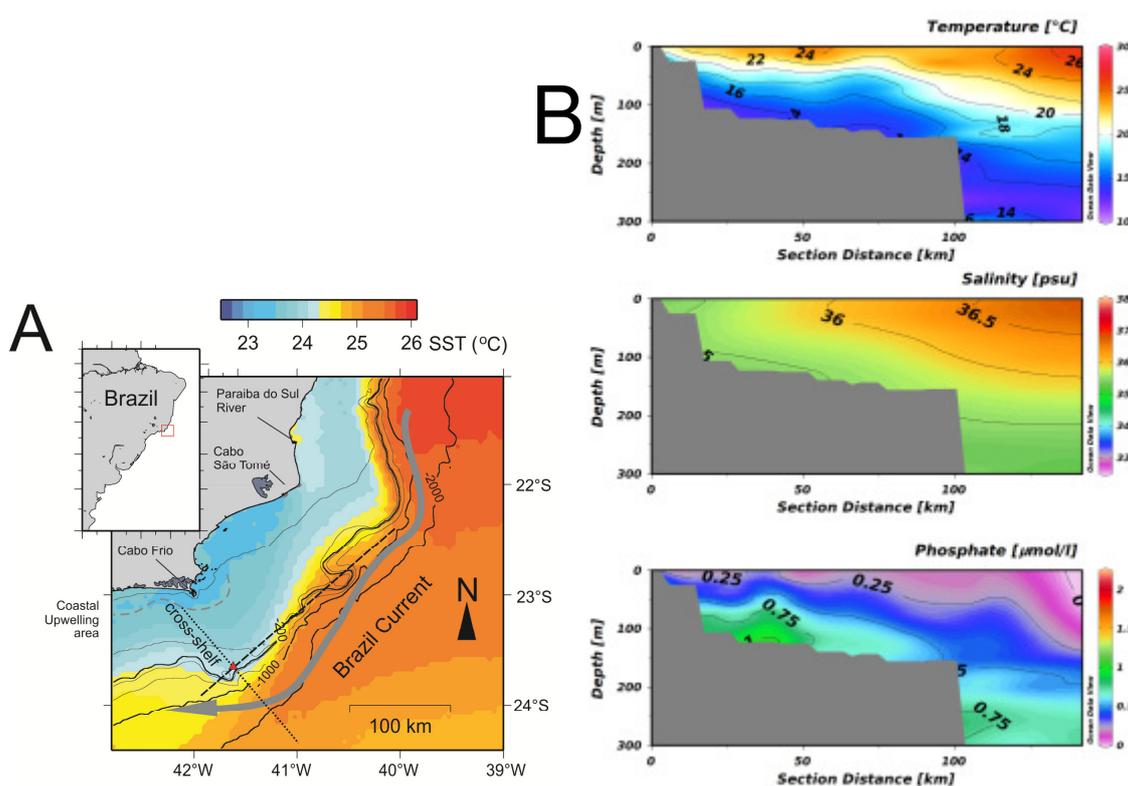
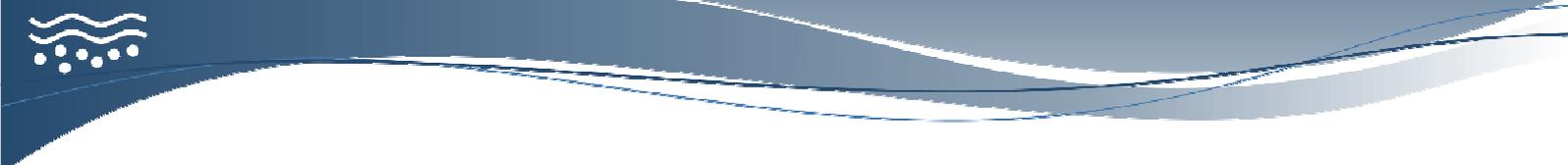


Figura 2(A) Oceanografia regional com a distribuição de temperatura superficial na região de Cabo Frio com base em imagens de satélite (Temperatura Superficial do Mar) entre 2010 e 2013; (B) Distribuição de massas d’água na região com base em dados históricos obtidos do World Ocean Atlas. A seção cross-shelf com a distribuição vertical de massas d’água e a posição do fundeio oceanográfico F-150 estão indicados.

Do ponto de vista dos efeitos químicos e biológicos da ressurgência, muitos estudos têm registrado a variabilidade sazonal das condições oceanográficas (Coutinho & Yoneshingue, 1988; Valentin & Coutinho, 1990; Carbonel & Valentin, 1999; De Léo & Pires-Vanin, 2006; Cury et al., 2011; Coelho-Souza et al., 2012). No entanto, a grande



maioria destes estudos está não só restrita às áreas costeiras no entorno da Ilha de Cabo Frio, como também se baseiam na condição de causa-efeito, sem considerar o acoplamento físico-biogeoquímico *strictu sensu*. Grande parte destes estudos têm confirmado o padrão intermitente e sazonal da ressurgência costeira de Cabo Frio, com importantes variações nos conteúdos de clorofila (de 0,5 a 6,0 mg. m⁻³), na produção primária (2,0 a 14,0 mgC. m⁻³.h⁻¹ nas águas superficiais, <50 m de profundidade) (Valentin & Coutinho, 1990) e no conteúdo de nutrientes (Valentin, 1984; Gonzalez-Rodriguez & Maestrini, 1984; Gonzalez-Rodriguez et al., 1992; Gonzalez-Rodriguez, 1994), no qual o nitrogênio tem sido apontado como um dos principais fatores limitantes à produtividade fitoplanctônica, e um dos principais nutrientes injetados pela ACAS na região da ressurgência.

Conforme apresentado no Relatório Científico 01, o modelo conceitual dos processos físicos que regulam a biogeoquímica do material particulado na plataforma continental, e posteriormente seu impacto nos processos de sedimentação e diagênese, produzido na primeira etapa da Fase II do Projeto Ressurgência, (Figura 1) serviram como norteadores para a aplicação do esforço amostral, com o fundeio oceanográfico (EO01), as coletas de campo (EO04 à EO08) e posteriormente para sua interpretação paleoceanográfica (EO09). A Etapa Operacional 03 – Planeamento das estratégias de coleta, preservação e análises foi concluído e descrito no RC01 bem como a delimitação das áreas que dividem a plataforma em função de características bem distintas e servem como base para as hipóteses científicas da Fase II e como otimizadores das etapas operacionais descritas na Tabela 1. Com essa premissa, as atividades científicas das etapas do projeto e executadas no período de Julho de 2013 até Março de 2014 são descritas a seguir.

Etapa EO01 - Acoplamento Físico-biogeoquímico na Coluna d'água: Recuperação do Fundeio F-150#06 e lançamento do #07 e Etapa EO07 - Geoquímica Marinha e fluxo de particulados de Cabo Frio

Dentro das atividades propostas pelo PR2, estão a manutenção de um fundeio oceanográfico instalado a uma profundidade de 145 m, na borda da plataforma continental de Cabo Frio, a cerca de 40 milhas a SE da Ilha de Cabo Frio. Esta linha de fundeio está operando desde Novembro de 2010, totalizando até o momento mais de 800 dias de dados oceanográficos, coletados em intervalos que variam de 15 minutos à 1 hora, dependendo do tipo de equipamento/medida. Esta atividade faz parte da Etapa

Operacional EO01 e o material capturado pelas armadilhas de sedimentação é analisado dentro da EO07. Ambas ocorrem de forma contínua ao longo de toda a Fase II do PR. O fundeio F-150#06 foi lançado no dia 4 de Junho de 2013 a bordo do “NHO Amorim do Valle” após solicitação ainda dentro do escopo do Projeto Ressurgência Fase I em cooperação com o Instituto de Estudos Almirante Paulo Moreira (IEAPM). A estrutura deste fundeio foi levemente modificada em relação aos fundeios 01 a 05, descrito nos relatórios científicos do Projeto Ressurgência Fase I, com apenas 1 armadilha de sedimentação posicionada a 70 m de profundidade aproximadamente.

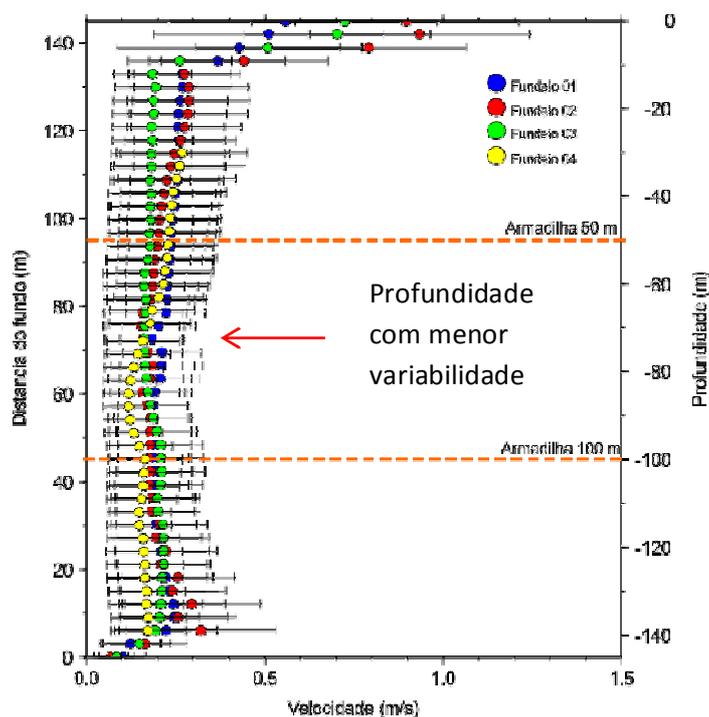


Figura 3 Variabilidade da magnitude do fluxo ao longo da coluna d'água, para os fundeios 01 a 04, realizados dentro da Fase I do Projeto Ressurgência. Note a posição relativa das armadilhas de 50 e 100 m e a diminuição significativa da velocidade à 70 m de profundidade.

Uma análise mais profunda nos valores de magnitude de fluxo dos fundeios 01 a 04 revelou que a coluna d'água funciona basicamente como um sistema de duas camadas distintas, com sua menor variabilidade a 70 m de profundidade. Com base nesses resultados, optou-se pela instalação de apenas uma armadilha nessa profundidade para os experimentos a partir do fundeio #06.

O experimento de fundeio #06 foi configurado para operação em aproximadamente 92 dias (Figura 4), e recuperado pelo Navio Hidroceanográfico Antares em 10 de setembro de 2013. Na mesma operação de recolhimento, e por 12 horas subsequentes, a linha de fundeio foi desmontada, sua integridade estrutural verificada, baterias e equipamentos reconfigurados para um novo lançamento, realizado no dia 11 de setembro de 2013 no

experimento denominado fundeio F-150#7 na posição 23° 37.37'S e 041° 34.81'W, com intervalos de 15 minutos para temperatura e salinidade, 1 hora para correntes, e integração de 14 dias nas garrafas da armadilha, em um total de 189 dias, com término previsto da coleta geoquímica da armadilha em 20 de Março de 2014 (Figura 4).



Figura 4 Detalhe do lançamento da armadilha de sedimentação do fundeio F-150#07 a bordo do NHO Antares.

Paralelamente a operação da EO01 a bordo do NHO Antares, foram realizadas atividades da EO08 – Programa Waterhunters, com lançamento de Roseta+CTD e coleta de água em 5 estações oceanográficas (Figura 5) no transecto offshore. Além da coleta de água foram medidas propriedades físicas e utilização de um LADCP + ADCP de casco em cooperação com o Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Os detalhes da EO08 são descritos adiante. As amostras oriundas da armadilha de sedimentação do fundeio F-150#06 entraram em processamento no laboratório apenas alguns dias após sua coleta, que consiste em um pré-tratamento de “picking” (retirada de organismos grandes que entram ativamente na armadilha – os “swimmers”) e devidamente programadas para o quarteamento e análise seqüencial para bulk, metais, orgânicos e picking de foraminíferos (Figura 6).

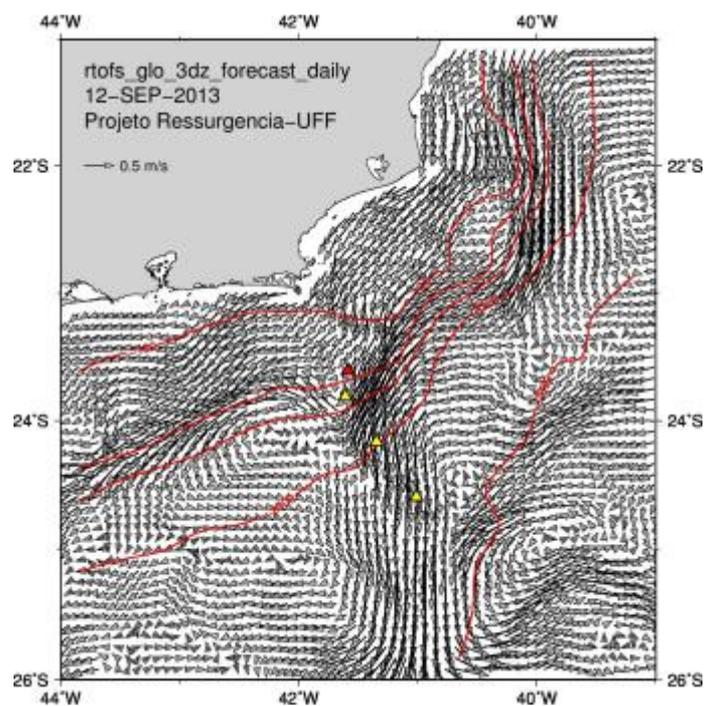


Figura 5 Localização do fundeio F-150 (triângulo vermelho) e das posições das estações (triângulos amarelos) realizadas na campanha Waterhuters (EO08), sobrepostas ao campo de correntes superficiais do modelo RTOFS da NOAA. As duas primeiras posições das estações foram reocupadas no retorno do navio ao ponto de fundeio, totalizando 5 estações oceanográficas.



Figura 6 Procedimento para início das análises do material coletado, realizado no LOOP – Laboratório de Oceanografia Operacional e Paleoceanografia.

Até o momento, os resultados integrados dos fundeios oceanográficos de 01 a 06, que incluem os experimentos realizados na Fase I e II do Projeto Ressurgência, revelaram que boa parte do material depositado nas armadilhas é proveniente do fluxo advectivo associado a Corrente do Brasil, principalmente na região da bacia de Campos (Figura 7 e Figura 8). A análise do fluxo médio baseado nos retro-vetores, obtidos pelos correntômetros instalados no fundeio, e integrados para cada garrafa/período de coleta das armadilhas de sedimentação, mostram que o raio de deriva do material particulado

capturado pelas armadilhas pode atingir até 300 km, embora o fluxo principal possa variar para os quadrantes W, S e SE em alguns momentos.

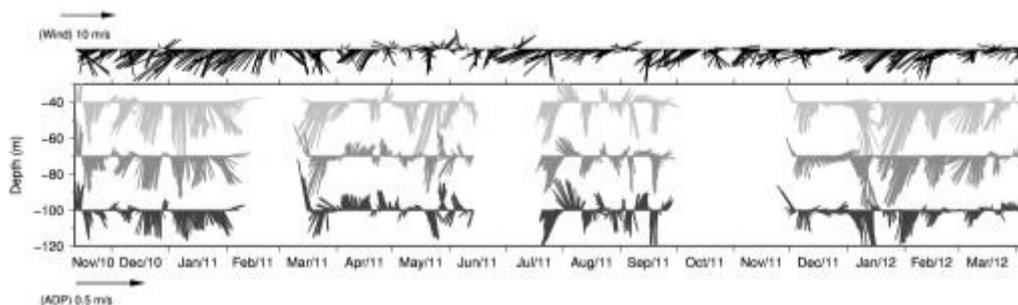


Figura 7 Variabilidade temporal do campo superficial de ventos e correntes obtidos nos experimentos de fundeio da Fase I

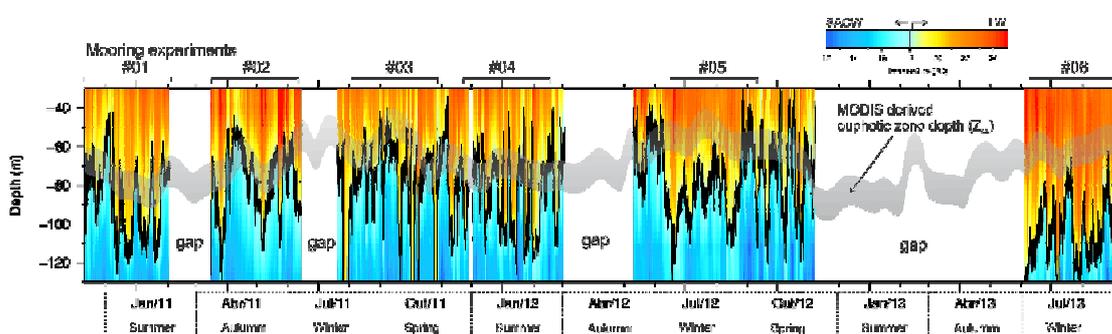
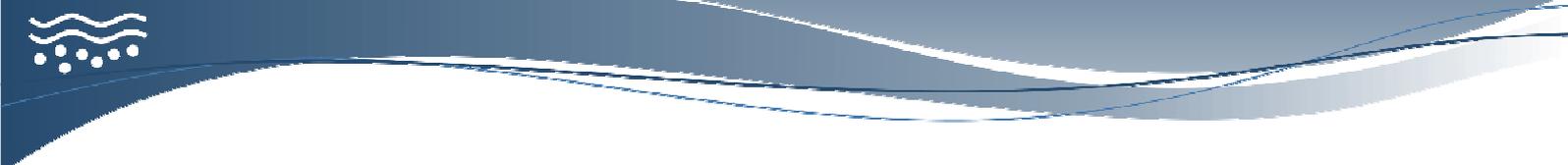


Figura 8 Variabilidade temporal do perfil de temperatura obtido nos experimentos de fundeio da fase I e II. A faixa cinza corresponde a profundidade estimada da zona eufótica obtida por imagens de satélite (Programa MODIS – GSFC/NASA).

Diferentes mecanismos combinam para agir sinergicamente na borda da plataforma continental de Cabo Frio, e controlam a magnitude dos fluxos de partículas e sua composição orgânica e inorgânica. Estes mecanismos incluem (a) incursões da frente interna da CB e seus meandros, associados a vórtices que penetram pela borda da plataforma continental; (b) a disponibilidade da ACAS na camada de fundo, indicada pela posição vertical da isoterma de 18°C, e que é controlada em grande parte pela incursão da Frente Térmica Profunda sobre a plataforma; (c) a dispersão de material oriundo das plumas costeiras e sua mistura com a Água de Plataforma e a Água Tropical, e que transporta material de origem continental através da porção mediana da plataforma; (d) a produtividade primária induzida pela penetração da ACAS rica em nutrientes na camada eufótica; (e) e por fim a ação do stress do vento localmente que condiciona a circulação da área de ressurgência (Albuquerque et al, 2014). A ação combinada desses fatores físicos e biogeoquímicos tem como resultado a variabilidade da quantidade e qualidade do material capturado pelas armadilhas de sedimentação.

Os resultados das etapas de monitoramento do fundeio, considerando aqui a fase I e II do Projeto Ressurgência, mostrou que a média dos fluxos de massa total e o carbono



orgânico particulado são dependentes da posição da isoterma de 18°C na coluna d'água, onde a ACAS se apresenta muito mais próxima ou mesmo dentro da zona eufótica durante os meses de verão (Dez-Jan-Fev) fazendo com que haja disponibilidade de nutrientes para a produção local. Ainda que o processo de ressurgência tenha um aspecto sazonal, intrusões de ACAS dentro da zona eufótica também foram observadas nos meses de Maio a Junho, acompanhadas por um leve incremento no fluxo de Carbono Orgânico Particulado, mas não na mesma magnitude que no verão. Os resultados obtidos até o momento sugerem que as diferenças nos fluxos podem ser explicadas por um suprimento maior de material de origem continental nos meses de verão e que funciona como “lastro” para a sedimentação do material em suspensão na plataforma. Com base nos resultados obtidos nos fundeios do PR, foi construído um gráfico sazonal do perfil de temperatura (Figura 9) a partir dos tidbits distribuídos ao longo da linha e a posição relativa das armadilhas de 50 e 100 m da Fase I do PR (linha pontilhada). É importante notar a presença constante da isoterma de 18°C, como limite superior da ACAS, ao longo de todo o ano, e sua posição relativa a média da profundidade da zona eufótica, derivada de dados do satélite MODIS-Aqua. Quando comparados com as estimativas mensais do Fluxo de Massa Total (TMF), Carbono Orgânico Particulado (POC_{Flux}), $\delta^{13}C$, e $\delta^{15}N$, obtidos nas duas armadilhas da Fase I, fica claro a tendência sazonal dos dados, controlados pela dinâmica da plataforma. Os resultados desta análise são apresentados em Albuquerque et al (2014).

Os experimentos com Armadilha de Sedimentação e o fundeio oceanográfico tem caráter contínuo dentro do PR2 e irá permitir ainda detalhar de forma mais precisa a contribuição de cada componente da dinâmica oceanográfica regional, no material em suspensão e sedimentação na área de Cabo Frio. Atualmente a previsão de retirada do Fundeio F-150#07 é para a última semana de Março de 2014 e a instalação de mais uma linha de fundeio, desta vez próxima a plataforma interna (F-70) está prevista para Abril/Maio de 2014, conforme o plano de ação da EO01.

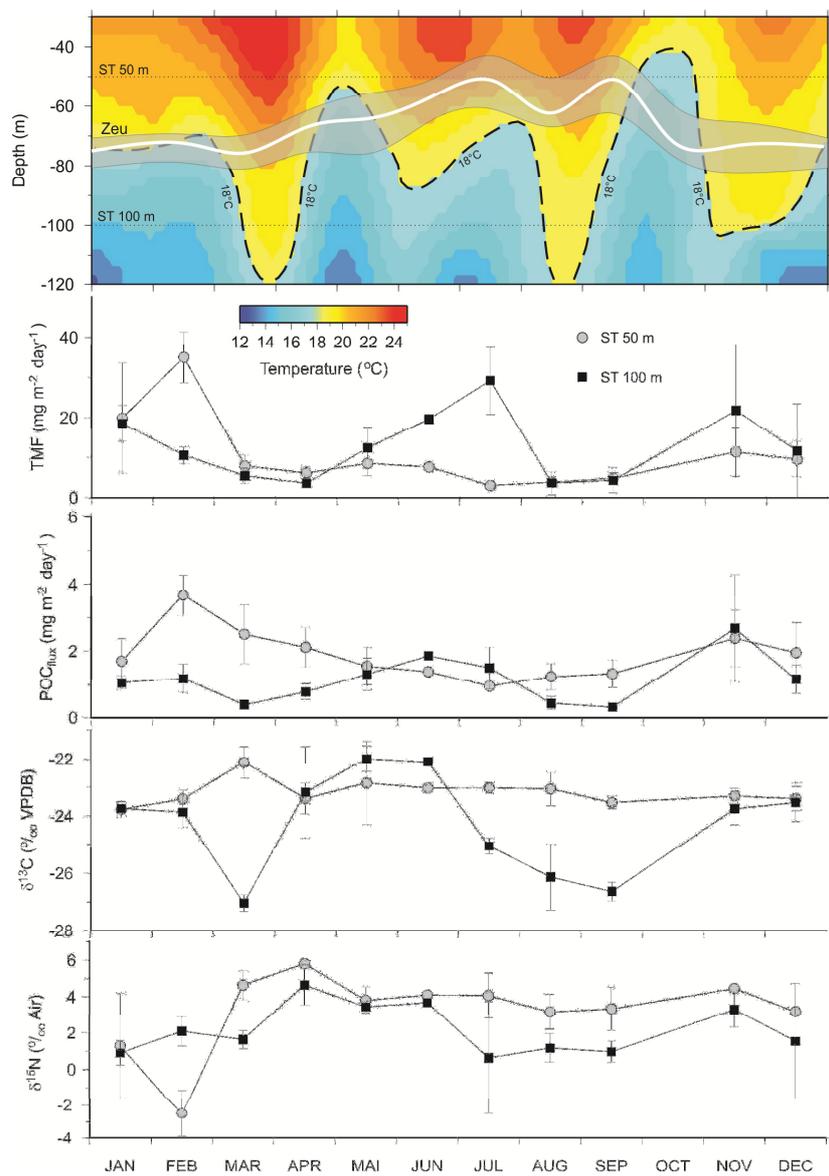
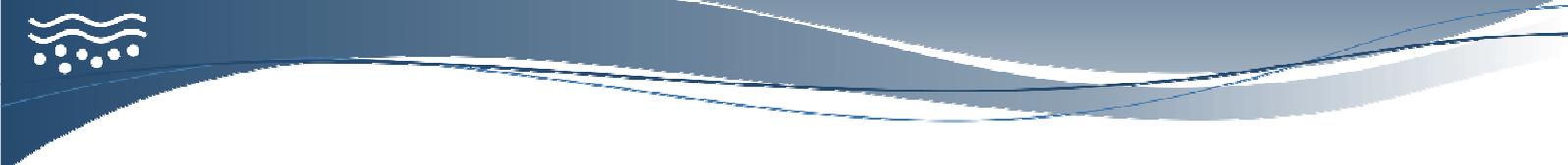
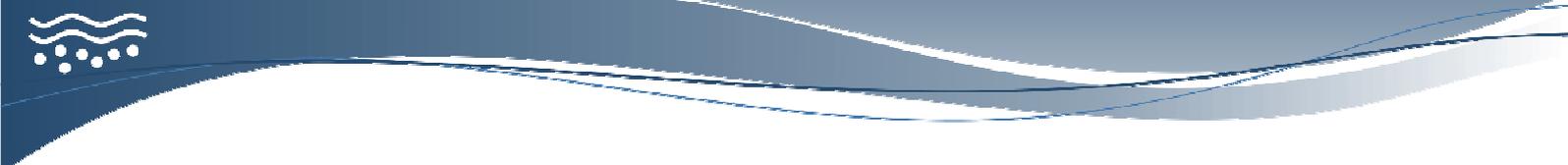


Figura 9 Variações sazonais do perfil de temperatura (acima) obtidas a partir dos dados do fundeio, com a posição relativa das armadilhas de 50 e 100 m da Fase I do PR (linha pontilhada). A linha tracejada marca a isoterma de 18°C como limite superior da ACAS. A linha branca com a faixa acinzentada marca a zona eufótica derivada de dados do satélite MODIS-Aqua. Os gráficos abaixo mostram as estimativas mensais do Fluxo de Massa Total (TMF), Carbono Orgânico Particulado (POC_{flux}), δ¹³C, e δ¹⁵N, nas duas armadilhas da Fase I. Gráfico apresentado em Albuquerque et al (2014)..

Etapa Científicas Planejadas E004, E005 e E006

Seguindo a ordem descrita no RAG, as etapas operacionais E004 Coleta de Sedimentos – Multicorer, E005 Coleta e análise da água intersticial e físico-química nos Multicores e E006 Análise das águas intersticiais - processos de diagênese, estão dentro do seu período de preparação e planejamento, conforme descrito no RC01 e na Tabela 1.



As interfaces água-sedimento são importantes sítios de circulação de matéria orgânica por causa de grandes áreas de superfície combinadas com a alta atividade microbiana, ambos com respeito à produção e à degradação de biomassa (De Beer et al. 2005). Elas possuem maior permeabilidade do que muitos sedimentos de grãos finos, o que facilita o transporte de água entre os poros e assim promove alto transporte de doadores e aceptores de elétrons, dentro ou fora desses sedimentos (Böttcher et al. 2000). Adicionalmente, as concentrações de nutrientes e metais na água intersticial e constituintes sólidos de sedimentos fornecem uma boa indicação de processos que ocorrem na coluna de água, o nível de eutrofização, e da taxa e vias de mineralização da matéria orgânica no sedimento (Graça, et al. 2006). As etapas operacionais EO04, EO05 e EO06, que propõem a coleta de sedimento e água intersticial através do sistema Rhyzon (Figura 10), foi considerada a metodologia mais recente apresentando vantagens como pouca perturbação no registro sedimentar, ausência de contato da amostra com ar atmosférico e dispensa a filtração da amostra (Shotbolt, 2010). Este delineamento amostral, somado ao uso de microsensores e técnicas de amostragem de fina escala, reforça consideravelmente a resolução espacial com que os perfis de água intersticial e constituintes sólidos de sedimentos estão sendo medidos (Wang; Van Cappellen, 1996). Por fim, a presente abordagem considera a integração do processo geoquímico com a dinâmica física oceânica que influencia a área de ressurgência, pois assim será possível entender a diagênese da matéria orgânica local abarcando a dimensão costeira do processo, incluindo o conhecimento qualitativo e sobre prováveis fontes da matéria orgânica estudada.



Figura 10 (esquerda) Multicorer que será utilizado para coleta de sedimentos e água intersticial e (direita) aplicação dos rizomas para amostragem de água intersticial, mesmo procedimento utilizado na Fase I do Projeto Ressurgência.

Esta atividade está baseada na coleta de amostras de sedimentos de fundo e águas sobrejacentes distribuídas ao longo do gradiente cross-shelf na plataforma continental de Cabo Frio integrando a abordagem de uma única amostragem. O delineamento amostral proposto é utilizar um coletor de testemunho tipo-Multicore (KC Denmark, Modelo 74.000 - Figura 10), com capacidade de recuperação máxima de 80 cm de comprimento e 8 cm de diâmetro incluindo águas sobrejacentes de quatro testemunhos. O plano de derrota será estabelecido para cinco estações representativas da plataforma continental, conforme descrito no RC01. Está planejada a recuperação de oito testemunhos através de dois lançamentos por estação totalizando quarenta testemunhos. Após o primeiro lançamento do Multicore os testemunhos, previamente perfurados e fechados com silicone, serão imediatamente removidos do multicorer e transportados para o laboratório. Os quatro testemunhos com as amostras de fase líquida serão introduzidos verticalmente na base de um Glove-box com meio inerte (N₂) para a retirada da água sobrejacente utilizando Rhyzon com uma seção filtradora de 10 cm e finalmente com seringas. Ainda os mesmos testemunhos serão utilizados para a análise de várias espécies dissolvidas inorgânicas e orgânicas na água intersticial, fixado o mesmo com hastes fora do Glove-box onde a fase líquida será extraída através dos furos utilizando Rhyzon com uma seção filtradora de 7 cm (Seeberg-Elverfeldt et al., 2005). Para evitar a oxidação, a fixação das amostras de água sobrejacente e água

intersticial será processada dentro de um Glove bag sobre atmosfera de N₂. Após o segundo lançamento do Multicorer os testemunhos serão imediatamente removidos do multicorer e transportados para o laboratório. Os três testemunhos para as amostras de fase sólida serão armazenados a bordo e refrigerados (4°C) até a análise. Os testemunhos para as determinações físico-químicas (O₂, Eh, pH) com micro e macro sensores serão fixados verticalmente em base de madeira, especialmente construída e instalada na embarcação. Finalmente este testemunho será armazenado a bordo e refrigerado (4°C) até a análise. No delineamento amostral empregando o Multicorer, o primeiro lançamento será destinado a fases solúvel, enquanto o segundo lançamento será destinado aos parâmetros físico-químicos e fase sólida dos sedimentos como exemplificado na Figura 11.

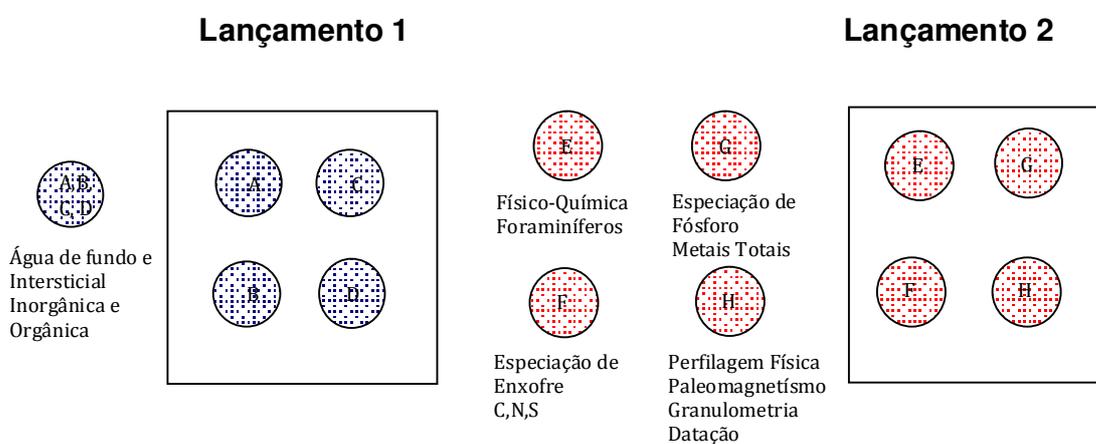
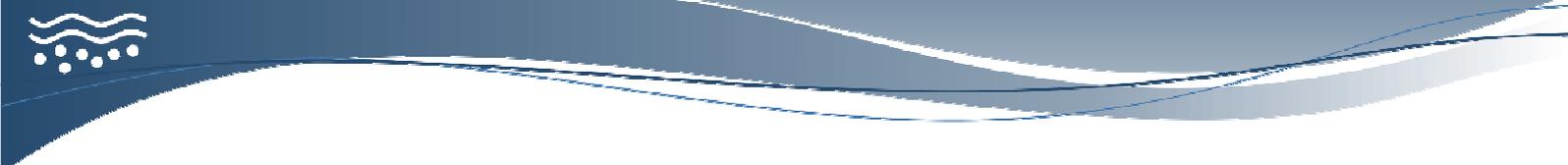


Figura 11 Delineamento amostral dos lançamentos do coletor de testemunho tipo-Multicorer em cada estação de coleta. Primeiro lançamento destinado a fase dissolvida. Segundo lançamento destinado aos parâmetros físico-químicos e fase sólida.

As informações sobre o volume e massa das alíquotas, tipo de fixação e preservação das fases dissolvidas e sólidas a serem analisados no escopo do projeto, assim como as cooperações nacionais e internacionais estabelecidas para a análise das mesmas foram determinados na etapa PR03 Planejamento das estratégias de coleta, preservação e análises, descritas no RC01. As medições dos parâmetros físico-químicos será realizada em duas escalas, microescala através de medições de oxigênio com optodos da interface água-sedimento (~ 3 cm), e macroescala através de medições de pH e potencial redox (Eh) com macrosensores ao longo do testemunho. As micro-provas ópticas de oxigênio têm alcançado um desenvolvimento comercial de alta difusão. Existe uma tendência de remplazar os micro-eletrodos eletroquímicos largamente utilizados para medir as concentrações de oxigênio em perfis a uma requerida resolução vertical (10-100 µm). Os optodos são fáceis de calibrar, sujeitos a uma baixa deriva do sinal e

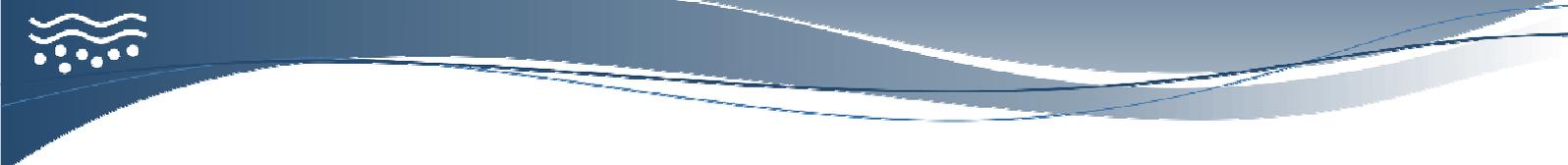


fisicamente mais robustos. Nesta escala espacial é possível estimar a espessura da camada limite de difusão na interface água-sedimento. Os optodos que serão utilizados são da marca Pyroscience (ponta 50 μm). A calibração dos optodos é feita previamente as medições medindo o ponto de leitura atmosférica (100% de saturação de O_2) através de solução aerada e pelo ponto zero (0% de saturação de O_2) através de preparação de solução anóxica de $\text{Na}(\text{OH})$ 0,1 mol L^{-1} com ascorbato de sódio. As medições são feitas diretamente no topo dos testemunhos nos quais a água de fundo é mantida bem oxigenada e homogênea através de uma recirculação lenta. Um micro-manipulador (Unisense) controlado por computador e um medidor de fluorescência conectado a quatro optodos permitem medição simultânea de temperatura e sinal de oxigênio a uma velocidade e resolução programada. Dependendo do tempo programado para cada estação podem ser realizados até dez perfis para assim obter uma heterogeneidade lateral na escala do testemunho (e.g. devido à distribuição natural de sólidos ou atividade de macrofauna /meiofauna). Em uma segunda etapa são utilizados macrosensores (ponta 1 cm) de pH e Eh para inserções in situ através do uso de um pHmetro portátil, com eletrodo externo de aço inoxidável e eletrodo interno de calomelano (Dual pH Technology – IQ Scientific Instruments). Os macrosensores são previamente calibrados com padrões comerciais de pH 4, 7 e 9. Os testemunhos coletados são furados nos pontos de medida previamente selecionados desde o topo até a base, e imediatamente após cada furo é introduzido o eletrodo para adquirir medidas de pH, Eh e temperatura.

Os resultados científicos destas etapas serão apresentados futuramente no Relatório Científico 03, previsto para o início de 2015.

Etapa E008 - Caracterização geoquímica das massas d'água – Programa Waterhunters

Os oceanos são um importante agente de redistribuição de vários componentes importantes do sistema climático da Terra, como calor, nutrientes e carbono. A maioria destes componentes formam as impressões digitais dos processos biogeoquímicos quando ativamente trocados com a atmosfera, durante a formação e posterior transporte de massas d'água. A magnitude destes processos físico-biogeoquímicos pode ser avaliada a partir da composição isotópica das massas de água e, conseqüentemente, o equilíbrio isotópico entre a água do mar e o carbonato biogênico. Esta é a razão pela



qual a composição isotópica dos foraminíferos tem sido uma das ferramentas mais utilizadas para reconstituir tanto as variações de temperatura e salinidade da superfície do mar (TSM e SSM, respectivamente) ($\delta^{18}\text{O}$), quanto a paleoprodutividade ($\delta^{13}\text{C}$) em testemunhos marinhos (Piotrowski et al, 2009; Thornalley et al, 2010; Morley et al, 2011; Ganssen et al, 2011). O estabelecimento de funções de equilíbrio isotópico, com base em experimentos de cultura (Erez e Luz, 1983; Kim e O'Neil, 1997; Bemis et al, 1998) calibradas por estudos com topos de testemunho (Steph et al, 2009; Grauel e Bernasconi, 2010), redes de plâncton (Mulitza et al, 2003) e armadilhas de sedimentos (Sautter e Thunell, 1991; Wejnert et al, 2010), torna possível reconstruir as variações de TSM e SSM em estudos paleoceanográficos. No entanto, a precisão dessas reconstruções depende, principalmente, de valores assumidos para o $\delta^{18}\text{O}$ da água do mar, que por sua vez possuem características singulares regionais. Tais são considerados conservativos e próximos do padrão VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) para o mar aberto, mas podem sofrer grandes variações nas margens continentais. Essas variações são resultantes da ação do balanço precipitação-evaporação, da descarga de água continental ou mesmo da ressurgência costeira, se desviando, portanto do sinal médio de escala global (Meredith et al, 1999; Bigg e Rohling, 2000; Mackensen, 2001).

Na busca de registros com alta resolução, especialmente para o Holoceno, muitos estudos têm utilizado os sedimentos marinhos depositados na plataforma continental (Mendes et al, 2010; Nizou et al, 2011; Limmer et al, 2012). Nestas áreas, a dinâmica oceanográfica é complexa devido à interação de processos internos de plataforma continental, como por exemplo, a mistura de massas d'água e a descarga de águas continentais. Nestas condições, o sinal isotópico da água do mar ($\delta^{18}\text{O}_a$) desvia dos valores estabelecidos para águas de oceano aberto. Conseqüentemente, o sinal isotópico encontrado no carbonato ($\delta^{18}\text{O}_c$) estará desviado do equilíbrio, comprometendo, assim, as funções utilizadas para reconstruir as temperaturas de calcificação dos organismos com carapaça carbonática. Portanto, uma avaliação do grau de mistura de águas de plataforma e processos biogeoquímicos envolvidos no fracionamento isotópico são críticos para a precisão das reconstruções paleoceanográficas que utilizam sedimentos obtidos em ambiente de plataforma continental.

Sobreposto aos processos que potencialmente podem atuar sobre o sinal do $\delta^{18}\text{O}_a$ nas águas de plataforma, as margens continentais também representam o principal compartimento produtivo dos oceanos. O potencial de fertilização das águas

costeiras decorrentes das entradas de material fluvial, contribuição eólica e ressurgência costeira, também alteram substancialmente o $\delta^{13}\text{C}$ do carbono inorgânico dissolvido (CID), o que reflete nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ de carbonatos biogênicos, influenciando assim o entendimento da variabilidade de paleoprodutividade (Eberwein e Mackensen, 2008; Lückge et al, 2009).

No Atlântico Sul, o único estudo que aborda a composição isotópica da água do mar através do par $\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$ e $\delta^{18}\text{O}_a$ foi conduzido por Pierre et al. (1991), que mostrou uma clara distinção entre as principais massas de água transportadas pela principal corrente de contorno oeste do Atlântico Sul, ou seja, a Corrente do Brasil (CB): Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e as massas d'água de profundidade intermediária transportadas pelas correntes de fundo menos organizadas, como a Água Intermediária Antártica (AIA), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e Água Antártica de Fundo (AAF). No entanto, o regime oceanográfico do oceano aberto é distinto da plataforma continental, o que pode conduzir a diferenças na composição isotópica das massas da Corrente do Brasil (AT e ACAS). Os resultados pioneiros de Pierre et al. (1991) serviram de base para a proposição da Etapa 08 – Caracterização geoquímica das massas d'água, do Projeto Ressurgência Fase II, denominado internamente de programa Waterhunters, e que visa caracterizar os desvios isotópicos ($\delta^{18}\text{O}_a$, δD , $\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$) sofridos pelas massas de água, ao serem influenciadas por processos de plataforma, permitindo inferir e identificar processos de plataforma, os quais afetam as reconstruções paleoceanográficas.

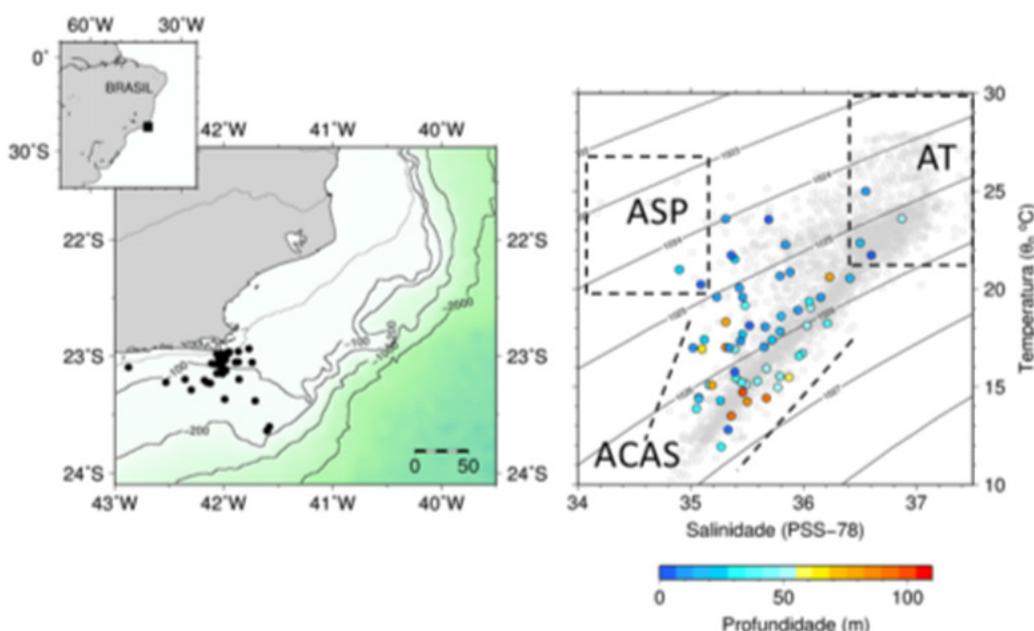


Figura 12 Mapa das estações de coleta e diagrama T-S das amostras obtidas. Os pontos em cinza no diagrama T-S representam os dados físicos para a região extraídos do NODC (National Oceanographic Data Center).

O programa Waterhunters amostrou até o momento um total de trinta e duas estações em 12 incursões de periodicidade quase mensal na plataforma continental ao largo de Cabo Frio (Figura 12) realizadas com o apoio da embarcação de mergulho "PL Divers", e os navios hidroceanográficos "Amorim do Valle" e "Antares" além do Av.Pq.Oc. "Aspirante Moura", estes últimos durante as fainas de lançamento e recuperação dos fundeios oceanográficos (Etapa EO01). Previamente a coleta de água, dados de perfis de temperatura e salinidade foram obtidos com a sonda multiparamétrica YSI 6600V2. A partir dos perfis T-S, usados para identificar as massas de água presentes no ponto de coleta, foram obtidas amostras de água do mar em profundidades específicas, que representassem cada uma das massas d'água identificadas. A coleta de água do mar foi realizada utilizando uma garrafa de Niskin com capacidade de 5L, cujo o "frame" tinha acoplado a sonda multiparamétrica. As amostras de água do mar para a análise dos isótopos estáveis foram armazenadas em frascos de âmbar de 100 ml e fixadas com 1 mL de uma solução saturada de cloreto de mercúrio. Para a análise de fosfato foram separadas sub-amostras de 1L. Um total de sessenta e três amostras foram coletadas e analisadas.

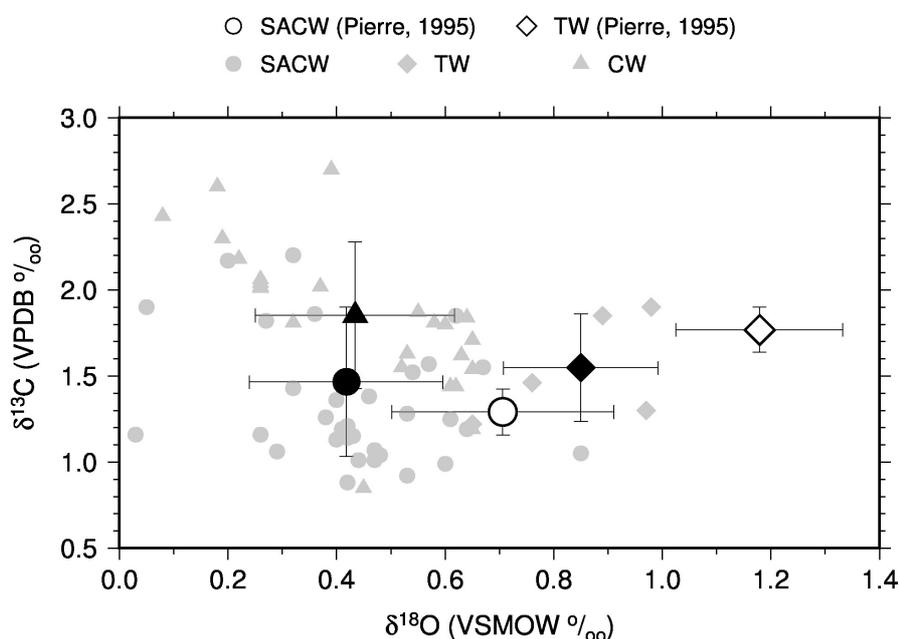


Figura 13 Dados isotópicos da região de Cabo Frio comparados com a região oceânica (Pierre, 1995) obtidos pelo Projeto Ressurgência até o momento.

Os resultados parciais mostram que, pela assinatura isotópica do $\delta^{18}\text{O}$, a via preferencial de mistura entre a AT e a AC é lateral enquanto que o $\delta^{13}\text{C}$ indica que a ressurgência tem um papel fundamental na área mais próxima a costa, na mistura entre

a ACAS e a AC+AT ou apenas AC (Figura 13). O acoplamento do conhecimento sobre a oceanografia física da região, com as interpretações obtidas através dos isótopos estáveis, permitiu a construção de um modelo conceitual para a plataforma continental (Figura 14).

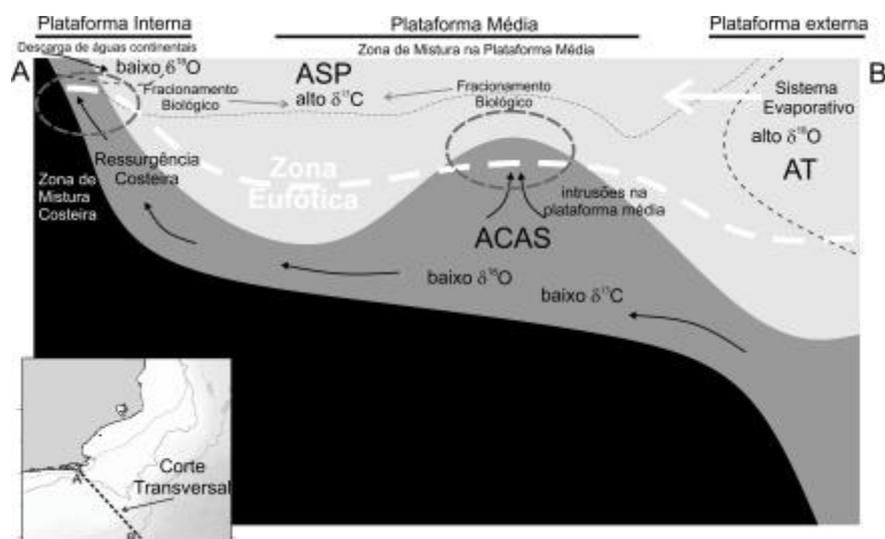
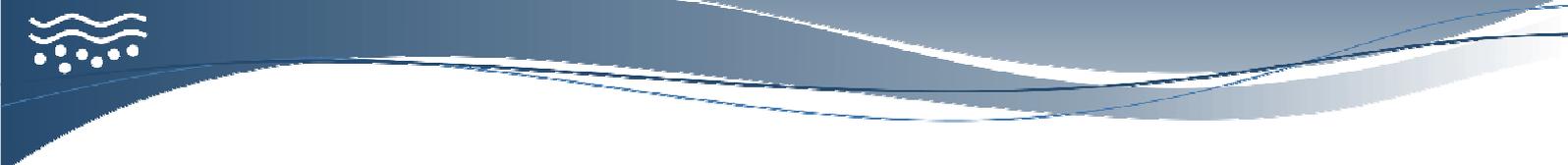


Figura 14 Modelo conceitual mostrando a dinâmica das massas d'água no SRCF e os principais processos que modulam as assinaturas isotópicas.

O modelo mostra que as oscilações da CB em direção à costa causam um aumento na contribuição relativa da AT. Isto faz com que estas águas aportem valores enriquecidos de $\delta^{18}O$ ($\delta^{18}O = 0,88 \pm 0,11$) para a plataforma externa e média. No caso da ASP ($\delta^{18}O = 0,22 \pm 0,06$) e da ACAS ($\delta^{18}O = 0,46 \pm 0,10$), as assinaturas isotópicas de $\delta^{18}O$ são empobrecidas e a influência da ASP é mais restrita a plataforma interna, enquanto a ACAS pode influenciar a coluna d'água em todas as regiões da plataforma. Os valores enriquecidos de $\delta^{13}C_{CID}$ ($>1,25$ ‰) podem ser encontrados na plataforma interna e média, onde os movimentos de intrusão da ACAS na zona fótica causam aumento da produtividade e maior imprint destes altos valores na ASP. Na plataforma externa, a AT mantém uma assinatura de $\delta^{13}C_{CID}$ estável e constante na coluna d'água, devido a seu maior percentual de ocorrência.

A coleta de dados isotópicos das massas d'água é uma das atividades contínuas do projeto, denominada de *Waterhunters*, e deverá ser acoplada futuramente com os resultados das armadilhas de sedimentação instaladas nos fundeios oceanográficos. Desta forma, a caracterização geoquímica, isotópica e a calibração de proxies, poderão ser usadas para as interpretações do ambiente paleo da área de Cabo Frio, conforme o objetivo central do Projeto Ressurgência Fase II. Adicionalmente, os resultados aqui apresentados foram submetidos à comunidade científica através do manuscrito



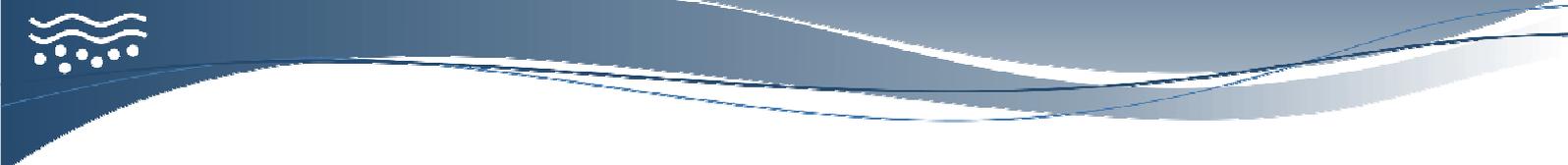
“Influence of continental shelf processes in the water mass balance from isotope data: implications for paleoceanographic proxy calibration” submetido no final de 2013 para a Journal of Marine Systems e ainda em fase de correção.

Etapa E009 - Paleoceanografia regional e variabilidade climática

Variabilidade Holocênica

A ocorrência de ciclos mais quentes (interglaciais) e mais frios (glaciais) e fases quentes e frias que caracteriza diferentes configurações atmosféricas e oceanográficas, com componentes globais e regionais, tais como mudança no regime de ventos, por exemplo, (nível regional) e aceleração/desaceleração da circulação termohalina (nível global), estão entre os principais focos de estudo do Projeto Ressurgência. Dentre os potenciais sistemas que podem responder a essas mudanças estão os sistemas de ressurgência, já que a sua forçante primária esta conectada ao regime de ventos e a oceanografia regional, como explicado acima. Alterações tanto nos padrões de vento como na dinâmica ou fluxo das correntes marinhas levam a mudanças de intensidade nas ressurgências. Portanto, a variabilidade passada da intensidade das ressurgências representa variações climáticas e oceanográficas no tempo geológico. O Holoceno é o atual período interglacial da história geológica iniciado em 11.700 anos AP marcado por uma estabilidade climática relativa. No entanto, a radiação solar hemisférica variou gradualmente durante todo o holoceno sendo mais intenso no Hemisfério Norte no Holoceno Inferior e mais intensa no Hemisfério Sul no presente. Vários eventos ocorreram em resposta às mudanças na insolação, tais como os eventos abruptos Bond (Bond et al., 1997), o posicionamento médio da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) (Haug et al., 2001) e a intensidade dos ventos SE no Atlântico Sul (Kim et al., 2003).

Uma das respostas oceanográficas mais significativas às variações da insolação foi dada pelo derretimento das geleiras polares causados pelo aumento da temperatura superficial do mar (SST). Tal derretimento contribuiu para a entrada de água doce, diminuindo a salinidade marinha e conseqüentemente reduzindo a circulação termohalina (THC) que limitou a produção da Água Profunda do Atlântico Norte (NADW). Este processo age como um *feedback* negativo na tendência de aquecimento o qual faz com que a SST no Atlântico Norte diminua e novas calotas polares se formem (Andrews



et al., 2000). Tais eventos foram fortemente expressos no último termination (17,0 – 11,5 ka cal AP) sendo abrupto e de curta duração (evento Heinrich 1 e YoungerDryas). Eventos semelhantes, mas de menor intensidade, também foram observados no Holoceno apresentando intervalos de aproximadamente 1400 anos (Bond et al., 1997), sendo o evento de 8.2 ka BP foi o mais intenso deles. No Atlântico Sul, a resposta oceanográfica para o enfraquecimento da THC é expressa em uma acumulação de calor dada por reconstruções que observaram um aumento da SST do Atlântico Tropical Sul enquanto que a SST do Atlântico Norte diminuía (Arz et al., 1999), tal evento é conhecido como dipolo termal do Atlântico.

A análise de paleoproxies nos testemunhos curtos e longos coletados pelo Projeto Ressurgência Fase I (Figura 15) permitiu o estabelecimento de condições oceanográficas na plataforma continental de Cabo Frio, que se intercalam e/ou superpõem na construção do registro paleoclimático, em escalas centenárias e milenares. Estes cenários serão os norteadores para testar hipóteses paleoclimáticas da área de estudo durante o Projeto Ressurgência Fase II.

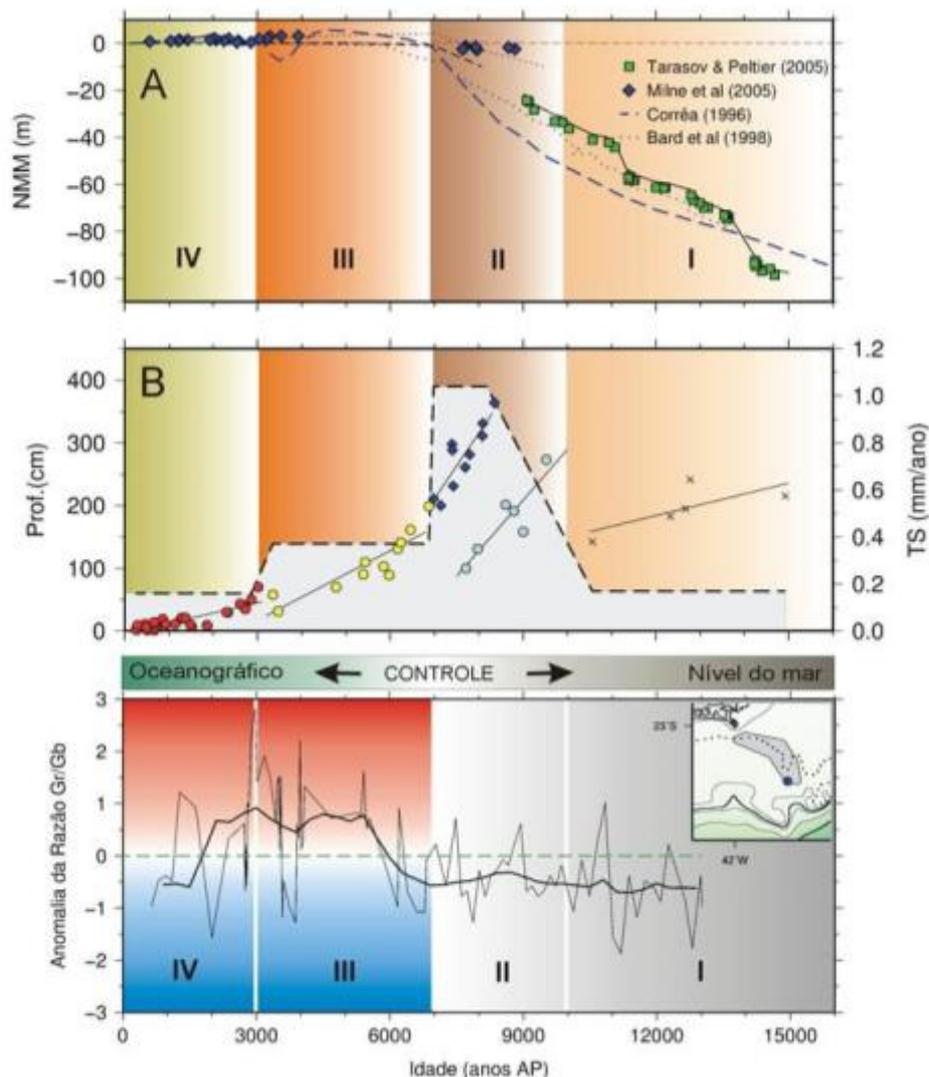
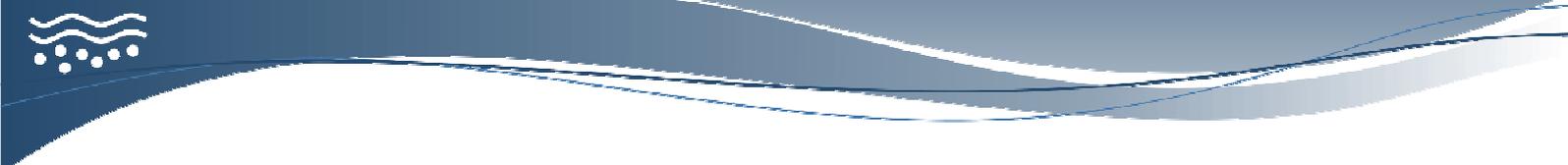


Figura 15 (A) Curvas de variação do nível do mar, (B) Taxas de Sedimentação e (C) variabilidade da razão Gr/Gb para a área da plataforma externa de Cabo Frio, conforme apresentado por Albuquerque et al. (2012) - Boletim de Geociências da Petrobras e no Relatório Executivo Final do Projeto Ressurgência Fase I.

No Atlântico Subtropical SW, as variações paleoclimáticas e paleoceanográficas são pouco conhecidas. Alguns estudos discutiram a variação paleoceanográfica durante o Pleistoceno (Erikson e Wollin, 1968; Berger et al. 2007; Toledo et al. 2007a, 2007b, 2008; Carlson et al. 2012; Toledo et al., 2007a; 2008), os quais reportaram a ocorrência de águas frias durante o Último máximo Glacial e no final do termination para o Holoceno. No entanto, estes estudos também observaram altas SST nos eventos Heinrich 1 (17,0 – 15,5 ka cal AP). Com respeito ao intervalo do Holoceno, existem poucos estudos disponíveis (Mahiques et al., 2005; Nagai et al., 2009; Souto et al., 2011; Pivel et al., 2013; Lessa et al., 2014) com resolução temporal suficiente para as interpretações paleoceanográficas.



O trabalho de Nagai et al. (2009) reconstrói a variação da área da ressurgência costeira (inner shelf), no entanto a variação dos proxies usados pelos autores foram muito influenciados por fluxos de correntes de fundo muito susceptíveis à variação do nível do mar devido à baixa profundidade. Os estudos de Toledo et al. (2008) e Pivel et al. (2013) registram bem as variações na oceanografia da borda oeste do Atlântico SW, mas os impactos sobre a variação da ressurgência em Cabo Frio no Holoceno são limitadas devido ou à baixa resolução ou ao fato dos registros terem sido coletados dentro do domínio da BC. Lessa et al. (2014) apresentou a variação holocênica na plataforma média do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio através do emprego de um método de agrupamento de biofácies, o que contribuiu para melhorar o conhecimento e identificar fatores oceanográficos locais influenciaram o Sistema de Ressurgência de Cabo Frio durante o Holoceno, porém os autores priorizaram à aplicação da metodologia das biofácies deixando ainda lacunas na história holocênica do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio. Os resultados aqui apresentados são as interpretações paleoceanográficas do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio nos últimos 9.0 kyr, que estão sendo submetidas à comunidade científica em dois artigos distintos de Lessa e colaboradores ainda no primeiro semestre de 2014, sendo um deles já submetido e em fase de análise e um segundo em preparação. Nestes resultados, foram usados dados multiproxy de foraminíferos planctônicos (fauna, isótopos estáveis e razão Mg/Ca), no core CF10-01B usado por Lessa et al. (2014) e um outro core em alta resolução (CF10-09A) amostrado em um ponto mais interno da plataforma média, e portanto, mais susceptível à ressurgência da ACAS que o core CF10-01B. O enquadramento dos dois cores na plataforma média permitiu a obtenção de sinal oceânico da BC assim como o sinal da ressurgência da ACAS e pouca influência de pequenas variações do nível do mar (Figura 17 e Figura 19).

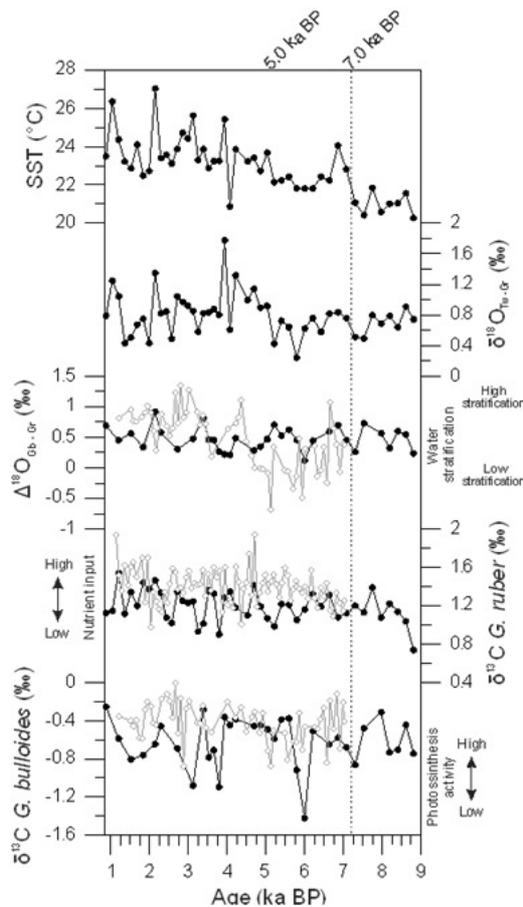


Figura 16 Variações das abundâncias relativas das principais espécies de foraminíferos planctônicos nos testemunhos CF10-01B e CF10-09A.

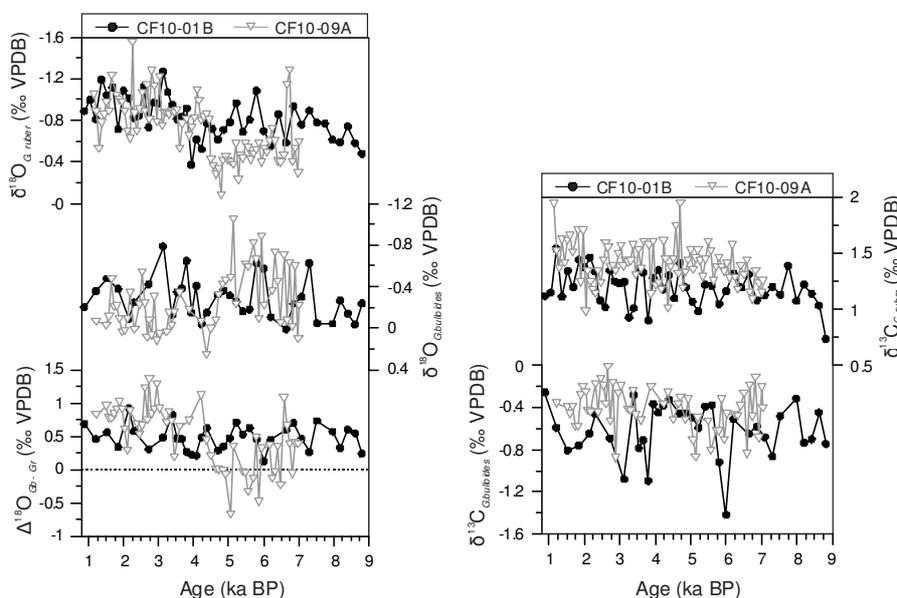


Figura 17 Variação dos isótopos estáveis de *Globigerinoides ruber* e *Globigerina bulloides* nos testemunhos CF10-01B e CF10-09A.

Apesar dos testemunhos se localizarem em uma distância longa da costa o suficiente para evitar a influência de pequenas variações do nível do mar sobre a variação dos

proxies, assim como aconteceu com Nagai et al. (2009), variações maiores tais como a transgressão pós-glacial (17.0 – 7.0 kyr BP) (Corrêa, 1996) e o máximo transgressivo do Holoceno (5.5 – 4.0 kyr BP) (Angulo & Lessa, 1997) podem ter influenciado nossos resultados de forma direta (modificação da assembleia fóssil devido a variação da profundidade) ou indireta (alteração oceanográfica devido a movimentação das massas d'água). O intervalo de tempo unicamente coberto pelo testemunho CF10-01B (9.0 – 7.2 kyr BP) exibe características muito distintas do restante do testemunho. As baixas SST (em torno de 21°C), a menor AR de *G. ruber* e maior AR de *G. sacculifer* e *G. rubescens*, e o crescimento do *menardii plexus* podem ser reflexo do final da transgressão marinha pós-glacial. Uma coluna d'água entre 45 e 40 metros mais baixa em 9.0 ka BP (Corrêa, 1996; Bard et al., 1999) poderia ser baixa o suficiente para que a morfologia da plataforma da isóbata de 90 m para baixo atuasse como barreira para a BC, facilitando o deslocamento da pluma da ressurgência costeira da ACAS para próximo dos nossos sítios de coleta. Da mesma forma, o baixo nível do mar pode ter favorecido à ocorrência de uma camada de mistura bem mais intensa com menor estratificação e transparência e alta contribuição continental, o que favoreceria ao estabelecimento de *G. sacculifer* e *G. rubescens* sobre *G. ruber* e o *menardii plexus* durante períodos de não ressurgência. Além disso, é possível que toda a margem continental SE do Brasil estivesse sobre um episódio de ressurgência generalizada, como explica Pivel et al. (2013). Tal evento poderia elevar a camada central (onde circula a ACAS) reduzindo a estratificação da água e favorecendo ao crescimento das espécies de águas frias tais como *Globototalia truncatulinoides*, *Globorotalia inflata* e *Neogloboquadrina dutertrei*, e desfavorecendo ao estabelecimento do *menardii plexus*. Na seção anterior a 9.0 ka BP do testemunho CF10-01B (não discutida devido à inúmeras incertezas de datação) foi observado 3% de *G. truncatulinoides*, 2% de *N. dutertrei* e presença constante de pelo menos um indivíduo de *G. inflata* contra uma ausência quase total do *menardii plexus*.

Em torno de 5.0 ka cal APBP, foi observado um pico na AR do *menardii plexus*, um aumento significativo na SST, SSS e $\delta^{18}\text{O}_{\text{BUL}}$ no testemunho CF10-09A e um decaimento no $\delta^{18}\text{O}_{\text{RUB}}$. Estes resultados coincidem com a transgressão Holocênica (5.5 – 4.5 kyr BP, Angulo e Lessa, 1997) quando o nível do mar foi 5 metros mais alto que o atual. O avanço continente à dentro e a consequente aproximação da BC associação de um clima mais úmido podem ter sido responsáveis pelas respostas heterogêneas do $\delta^{18}\text{O}_{\text{RUB}}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{BUL}}$ nos dois testemunhos. Após 5.0 ka BP, o $\delta^{18}\text{O}$ de ambas as espécies tenderam a se separar abruptamente no testemunho CF10-09A, enquanto que apenas um aumento do $\delta^{18}\text{O}_{\text{RUB}}$ foi observado no testemunho CF10-01B.

Tais configurações indicaram que águas de plataforma alcançaram a plataforma média durante a transgressão Holocênica, fazendo o $\delta^{18}\text{O}_{\text{RUB}}$ se tornar abruptamente mais negativo no sitio do testemunho CF10-09A, enquanto que o sitio do testemunho CF10-01B recebia frequentes intrusões da TW devido a aproximação da frente da BC. Com a regressão marinha após 4.0 ka BP (Angulo & Lessa, 1997), a frente interna da BC se afastou e a plataforma externa começou a receber influências de águas de plataforma diminuindo o $\delta^{18}\text{O}_{\text{TW-RUB}}$. A ausência de respostas no $\delta^{18}\text{O}$ de ambas as espécies no testemunho CF10-01B não descarta a possibilidade de influência de águas de plataforma, já que ambos os testemunhos registraram um aumento na AR de *G. rubescens* durante o máximo transgressivo do Holoceno (Figura 18).

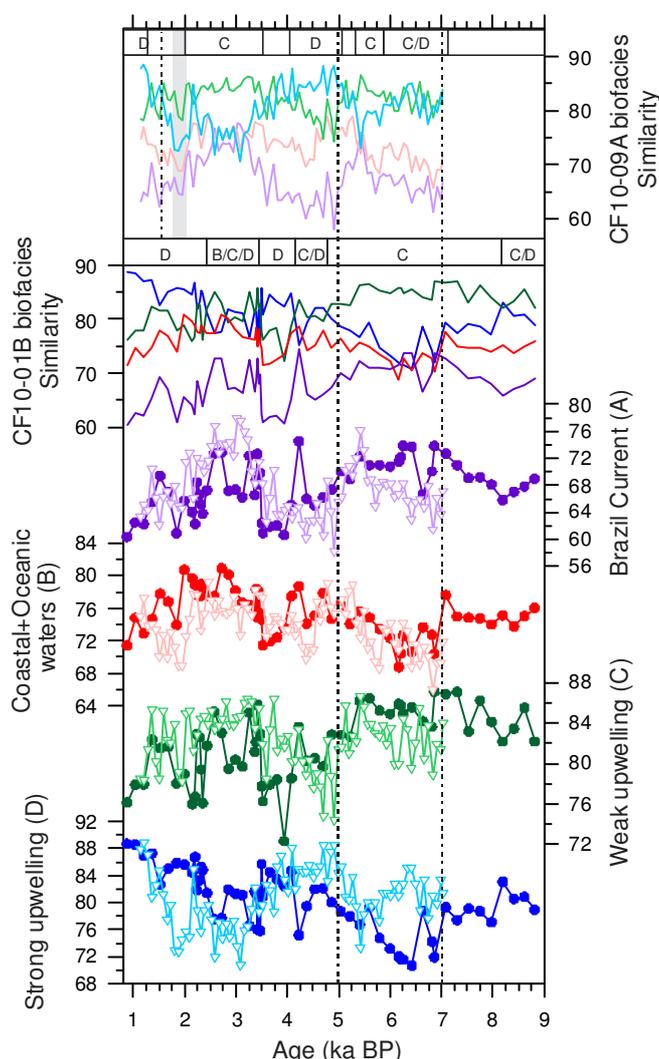
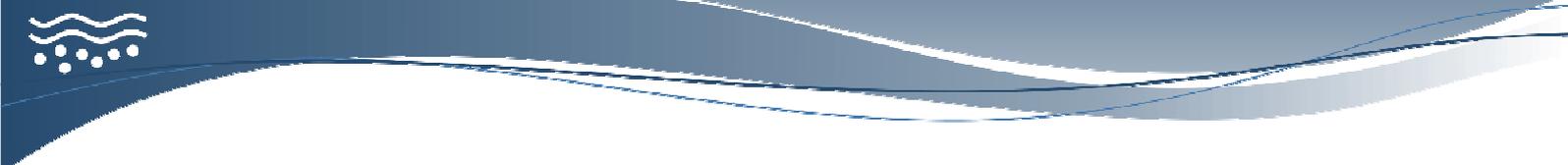


Figura 18 Variações das similaridades nas assembleias de foraminíferos planctônicos durante o Holoceno, descritas as biofácies dos testemunhos CF10-01B (círculos) e CF10-09A (triângulos), apresentados em Lessa et al (2014).



Com base nos registros de isótopos estáveis e razão Mg/Ca do carbonato de foraminíferos planctônicos de Cabo Frio apresentados aqui, três fases de aquecimento das águas superficiais da Corrente do Brasil (BC) foram identificados, a cerca de 7.0 ka BP e 5.0 ka BP, coincidindo com o final da transgressão pós-glacial e o máximo transgressivo do Holoceno, que podem estar conectadas com mudanças nos sistemas atmosféricos sobre o oceano Atlântico (variação da SAH). Tais coincidências apontaram para uma resposta do Atlântico Subtropical SW para a variação climática do Holoceno Médio. As mudanças na SST do Atlântico Subtropical SW e nas configurações atmosféricas após 5,0 ka cal AP até 2,5 ka cal AP enfraqueceram a influência da ressurgência da ACAS a qual ou se restringiu à camada sub-superficial ou apresentou uma diminuição das ocorrências anuais. No entanto, as variações da ressurgência no tempo podem não ser apenas explicadas por fatores de escala regional e global, as componentes locais foram também importantes tais como a presença de águas de plataforma, a corrente costeira fria e a intensidade/frequência dos ventos NE no verão. O detalhamento destas fases bem como a correlação entre diferentes paleoproxies estão entre as metas desta etapa paleoceanográfica e em constante refinamento. Os resultados serão apresentados de forma contínua para a comunidade científica neste próximo período do projeto e executado ao longo da Etapa EO09 do Projeto Ressurgência Fase II.

Variabilidade secular

Para acessar a variabilidade climática em escalas de tempo mais curtas, o Projeto Ressurgência Fase I coletou testemunhos curtos em 17 pontos sobre a plataforma continental ao largo de Cabo Frio, e utilizou a técnica de datação por Chumbo-210 para estimar as idades de 4 registros sedimentares curtos, denominados BCCF10-01, BCCF10-04, BCCF10-09 e BCCF10-15. O primeiro produto científico com os resultados desta análise foi o artigo de Sanders et al. (2013), intitulado “Recent organic carbon accumulation (~100 years) along the Cabo Frio, Brazil upwelling region” e que norteou os trabalhos subsequentes de Cordeiro et al (in press), que tratou da reconstrução das temperaturas superficiais do mar no último século na região de Cabo Frio com base no proxy Uk-37 (alquenonas) e a dissertação de mestrado de Gabriele Faria, que teve como objetivo geral verificar a disponibilidade da ACAS no fundo da plataforma continental ao largo de Cabo Frio no último século, o seu potencial de ascensão e os efeitos sobre a

produtividade regional utilizando assembleias e análises isotópicas das carapaças de foraminíferos bentônicos.

Ambos os trabalhos, embora distintos, chegaram a conclusões similares. A variabilidade da temperatura das águas em contato com o fundo da plataforma continental, ao longo do último século, através da composição isotópica do oxigênio das testas de foraminíferos bentônicos, e principalmente, a identificação de bioindicadores potenciais para explicar características ambientais da região, comprovam os resultados de Cordeiro et al, (in press), que sugere que a área central e costeira da plataforma de Cabo Frio parece capturar preferencialmente o sinal de TSM relacionados com a ressurgência. Já a TSM na área offshore é controlada principalmente pela posição da frente térmica da Corrente do Brasil. No entanto, Cordeiro e colaboradores observaram ainda heterogeneidades espaciais na TSM devido às condições paleoambientais em sistemas de plataforma continental que são controlados por uma oceanografia complexa e dinâmica, reconstruídos a partir de apenas um único núcleo que é a Água de Plataforma.

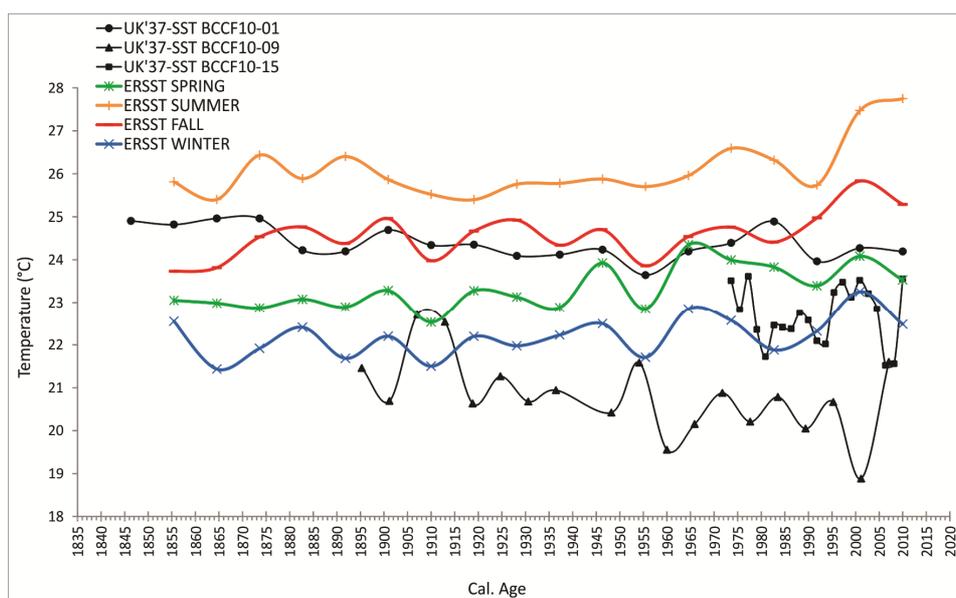


Figura 19 Reconstrução das temperaturas superficiais do mar na região de Cabo Frio utilizando Alquenonas como paleoproxy (Cordeiro et al, 2014 – in press).

Durante o século passado uma queda na TSM foi observada nas áreas costeiras e área central com base nos proxies do Projeto Ressurgência, sugerindo intensificação da ressurgência costeira e de subsuperfície com a intrusão da ACAS. A intensificação dos mecanismos de afloramento pode estar relacionada com o deslocamento meridional da ITCZ e com o fortalecimento da Alta Pressão do Atlântico Sul que condiciona os ventos de NE envolvidos com ressurgência. Em paralelo, o gradiente cross-shelf de temperatura

aparentemente aumentou e o ligeiro aquecimento das águas oceânicas ao longo dos últimos 60 anos pode estar relacionada com o ajuste da Corrente do Brasil desde ~ 1950, que possivelmente está associado à intensificação dos ventos zonais no Atlântico Sul devido às alterações climáticas modernas (Figura 19). Quando estas conclusões de Cordeiro et al (2014) são comparadas com os de Faria (2014) na escala centenária recente, é possível verificar que a diminuição da temperatura observada pelo proxy alquenona se correlaciona com o índice de ressurgência, com base na variabilidade da ocorrência de *G. subglobosa* (Figura 20 – Faria, 2014).

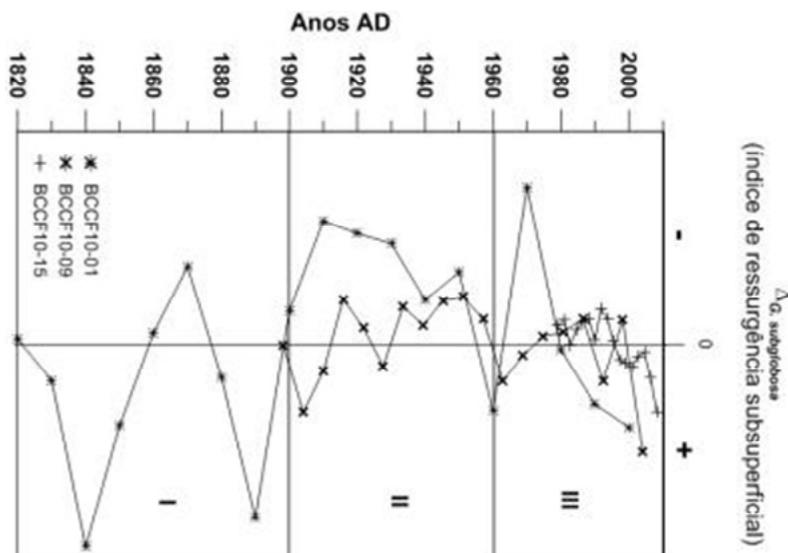


Figura 20 Estimativa do índice de ressurgência com base na variabilidade de *G. subglobosa*, foraminífero bentônico (Fonte: Faria, 2014).

As atividades da EO09 tanto em escala Holocênica quanto em escala secular, continuam na fase II do Projeto Ressurgência, com a análise da variabilidade das condições oceanográficas em escalas de tempo geológico distintas e na compreensão do papel da ressurgência de Cabo Frio e da Corrente do Brasil na composição do sinal paleoclimático. Novos produtos serão adicionados ao próximo relatório (RC03).

Continuidade do projeto e perspectivas futuras

As atividades descritas neste relatório e detalhadas na Tabela 1 estão gerenciadas de acordo com o cronograma estabelecido no RAG. A experiência dos últimos 4 anos (de 2009 com a Fase I à 2013 incluindo a Fase II) tem demonstrado que o uso da metodologia de gerenciamento de projetos na administração das atividades científicas permite uma otimização do esforço do projeto no trabalho de responder perguntas

científicas relevantes para a região de estudo, e garante a excelência na qualidade dos produtos científicos e técnicos do projeto bem como no cumprimento dos prazos estabelecidos. Com esse resultado positivo, consolidado aqui como produtos científicos (listados no item abaixo), a perspectiva futura é de um aumento significativo no número de publicações, fato este facilmente notado com a publicação de um número significativo de artigos apenas no período de Julho de 2013 até Março de 2014.

Produtividade científica do Projeto Ressurgência

Abaixo estão listados os produtos científicos do Projeto Ressurgência, incluindo aqui a produção da Fase I, em ordem cronológica-alfabética. Estes artigos podem ser acessados através do portal de publicações do Projeto Ressurgência, no endereço <http://www.loop-uff.org/#!produtos/cg0x>.

ARTIGOS PUBLICADOS

2012

ALBUQUERQUE, A.L.S.; Belém, A.L.; Portilho, R.; Mendoza, U. Barbosa, C.F.; Santos, H. 2012. Projeto Ressurgência – Processos geoquímicos e oceanográficos no limite entre Bacias de Campos e Santos: passado e presente. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v.20, n. 1/2, p. 193-210.

2013

BELEM, A.L.; Castelao, R.M.; Albuquerque, A.L. 2013. Controls of subsurface temperature variability in a western boundary upwelling system. *Geophysical Research Letters*, 40, 1362-1366. DOI: 10.1002/grl.50297

CRUZ, A.P.S.; Barbosa, C.F.; Ayres-Neto, A.; Albuquerque, A.L.; 2013. Physical and geochemical properties of centennial marine sediments of the continental shelf of southeast Brazil. *Geochimica Brasiliensis*. 27(1), 1-12. <http://10.5327/Z0102-9800201300010001>

FIGUEIREDO, T.S.; Albuquerque, A.L.S.; Sanders, C.J.; Cordeiro, L.G.M.S.; Silva-Filho, E.V. 2013. Mercury deposition during the previous century in an upwelling region; Cabo Frio, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 76, 389-393. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.07.049>

KÜTTER, V.T.; Wallner-Kersanach, M.; Sella, S.M.; Albuquerque, A.L.S.; Knoppers, B.A.; Silva-Filho, E.V. 2013. Carbon, nitrogen, and phosphorus stoichiometry of plankton and the nutrient regime in Cabo Frio bay, SE Brazil. *Environmental Monitoring and Assess*, 85(12). DOI: 10.1007/s10661-013-3399-5

MARQUES, A.C.S.; Diaz, R.A.R.; Moreira, M.; Mendoza, U.; Albuquerque, A.L.S. 2013. Geoquímica sedimentar do enxofre na reconstrução da ressurgência em sedimentos holocênicos de Cabo Frio (RJ). *Revista PIBIC - UFF. Área Ciências Exatas da Terra*. Volume I.

SANDERS, C.J.; Caldeira, P.P.; Smoak, J.M.; Ketterer, M.E.; Belem, A.; Mendoza, U.M.N.; Cordeiro, L.G.M.S.; Silva-Filho, E.V.; Patchineelam, S.R.; Albuquerque, A.L.S. 2013. Recent organic carbon accumulation (~100 years) along the Cabo Frio, Brazil, upwelling region. *Continental Shelf Research*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2013.10.009>.

ARTIGOS ACEITOS (IN PRESS)

2014

ALBUQUERQUE, A.L.; Belem, A.L.; Zuluaga, F.J.B.; Cordeiro, L.M.G.; Mendoza, U.; Knoppers, B.A.; Gurgel, M.H.C.; Meyers, P.A.; Capilla, R. 2014. Particle fluxes and bulk geochemical characterization of the Cabo Frio upwelling system in southeastern Brazil: Sediment trap experiments between Spring 2010 and Summer 2012. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*. 86(2), Junho. Aceito.

CORDEIRO, L.G.; Belem, A.L.; Boulobassi, I.; Rangel, B.R.; Sifeddine, A.; Capilla, R.; Albuquerque, A.L.S. 2014. Southwestern Atlantic sea surface temperature reconstruction during the last century: Cabo Frio continental shelf. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Aceito.

LESSA, D.V.O.; Ramos, R.P.; Barbosa, C.F.; Silva, A.R.; Belém, A.; Turcq, B.; Albuquerque, A.L. 2014. Planktonic foraminifera in southeastern Brazilian margin sediments: a biofacies model designed for paleoenvironmental applications. *Marine Micropaleontology*. Aceito.

MENDOZA, U.; Ayres, A.N.; Abuchacra, R.C.; Fernandes, C.B.; Figueiredo Jr., A.; Gomes, M.C.; Belem, A.L.; Capilla, R.; Albuquerque, A.L.S. 2014. Geoacoustic character, physical properties and chronology of a cross-shelf Holocene sediment deposits off Cabo Frio, Brazil. *Geo-Marine Letters*. Aceito.

MENDOZA, U.; Candella, R.N.; Assad, L.P.F.; Velazco, F.C.; Azevedo, L.; Knoppers, B.A.; Albuquerque, A.L.S. 2014. A model analysis for the design and development of anularian sediment trap mooring array in a Western boundary upwelling system from southeast Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*. 86(2), Junho. Aceito.

ARTIGOS SUBMETIDOS

2013

VENANCIO, I.M.; Belem, A.L.; Santos, T.H.R.; Zucchi, M.R.; Azevedo, A.E.G.; Capilla, R.; Albuquerque, A.L.S. Influence of continental shelf processes in the water mass

balance from isotope data: implications for paleoceanographic proxy calibration. Journal of Marine System.

TESES DE DOUTORADO

EM ANDAMENTO

BORBA, Bruna Dias. (Término em 2015). Paleocianografia da plataforma de Cabo Frio (RJ) com base em foraminíferos bentônicos. Orientador: Catia F. Barbosa: Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.

DIAZ, Rut Amélia. (Término em 2016). Geoquímica inorgânica e orgânica do enxofre na reconstrução da ressurgência em sedimentos Holocênicos de Cabo Frio (RJ). Orientador: Ana Luiza Albuquerque, Ursula Mendoza: Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.

MOREIRA, Manuel. (Término em 2016). Avaliação do fracionamento geoquímico de elementos-traço como registro das condições paleo-redox e de paleoprodutividade registrada nos sedimentos do sistema de ressurgência de Cabo Frio. Orientador: Wilson Machado (UFF), Ari Roisenberg (UFRGS), Anderson Rocha (UFF): Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.

CONCLUÍDAS

LESSA, Douglas Villela de Oliveira. (Concluído em 2013). Paleocianografia do sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ) nos últimos 12.000 anos inferida por foraminíferos planctônicos. Orientadora: Ana Luiza Albuquerque (UFF), Catia F. Barbosa (UFF) e Bruno Jean Turcq (LOCEAN): Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.

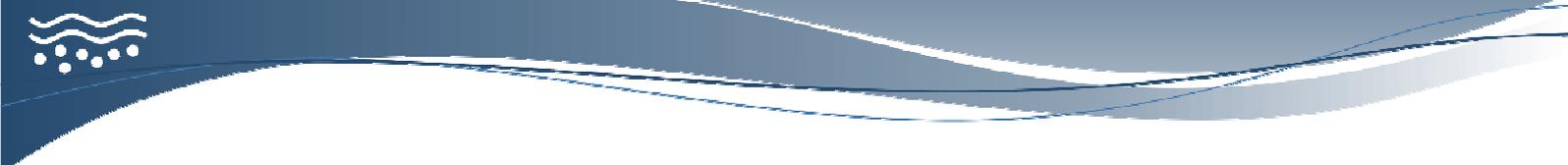
DISSERTAÇÕES DE MESTRADO

EM ANDAMENTO

FARIA, Gabrielle Rodrigues de (Término em 2014). Reconstituição da temperatura de fundo de águas da plataforma continental de Cabo Frio com base na assembleia e isotopia de foraminíferos bentônicos. Orientador: Catia F. Barbosa: Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.

MATOS, Christiene (Término em 2015). Biogeoquímica de águas intersticiais e estimativas de fluxos de nutrientes na interfase água-sedimento da plataforma continental de Cabo Frio. Orientador: Wilson Machado e Ursula Mendoza: Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.

NUNES, Vitor Pereira (Término em 2015). Variabilidade oceanográfica recente baseada na assembléia de foraminíferos planctônicos e geoquímica isotópica em carbonato biogênico na plataforma continental do sistema de ressurgência de Cabo Frio, RJ. Orientador: Ana Luiza Albuquerque: Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.



OLIVEIRA, Igor Venâncio Martins (Término em 2014). Equilíbrio isotópico entre a água do mar e foraminíferos planctônicos na plataforma continental de Cabo Frio. Orientador: Ana Luiza Albuquerque e Andre L. Belem: Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.

CONCLUÍDAS

ÁVILA, Manuel Fernando Botero (Concluído em 2013). Fluxo de carbono de zooplâncton e pelotas fecais coletados com armadilhas de sedimentação no sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ). Orientador: Bastiaan Adriaan Knoppers (UFF) e Jean Louis Valentin (UFRJ): Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.

FIGUEIREDO, Thiago de Souza (Concluído em 2013). Registro da deposição do mercúrio durante os últimos 150 anos na plataforma continental de Cabo Frio. Orientador: Emmanoel Vieira da Silva-Filho (UFF): Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.

GOMES, Clauzira Manoela M. (Concluído em 2013). Caracterização de ecos e estruturas indicativas de Paleoambiente através de sísmica de alta resolução na região de Cabo Frio, RJ. Orientador: Arthur Ayres Neto (LAGEMAR) e André Luiz Belém (UFF): Programa de Pós-graduação em Geofísica, UFF.

RAMÍREZ, Manuel Antonio Moreira (Concluído em 2013). Piritização de elementos-traço em sedimentos recentes do sistema de ressurgência de Cabo Frio, RJ. Orientador: Wilson Thadeu Valle Machado (UFF): Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, UFF.

PILLAR, de Oliveira Carvalho Rodrigues. (Concluído em 2013). Projeto Ressurgência – Fase II: Acoplamento físico-bio-geoquímico dos processos de produção, transporte, acumulação e exportação da matéria orgânica na plataforma continental de Cabo Frio – Presente e Passado. Orientador: Arthur Ayres Neto (LAGEMAR) e Daniel Ribeiro Franco (UFF): Programa de Pós-graduação em Geofísica, UFF.

MONOGRAFIAS

CONCLUÍDAS

RANGEL, Bernardo Rolim. (Concluído em 2013). A validação das alquenonas como marcadoras da temperatura da superfície do mar e produtividade no Sistema de Ressurgência de Cabo Frio. Orientador: Ana Luiza Albuquerque (UFF) e Livia G. M. S. Cordeiro (UFF): Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho.

TEIXEIRA, Bruno Petrocelli. (Concluído em 2013). Processamento sísmico aplicado a dados de alta resolução para caracterização de feição geológica do fundo oceânico ao Largo de Cabo Frio-RJ. Orientador: Arthur Ayres Neto (UFF): Universidade Federal Fluminense – Instituto de Geofísica.

ESTÁGIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

BUSCH, Wesley Faria. (Término em 2014). Funcionamento da interface água-sedimento inferida através da dinâmica de O₂ em sedimentos de plataforma continental do sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ). Orientadora: Ana Luiza Albuquerque, Ursula Mendoza: Programa de Graduação em Química, UFF.

SILVA, Carolina Duarte. (Término em 2014). Constituintes inorgânicos dissolvidos na interfase água-sedimento do sistema de ressurgência de Cabo Frio. Orientadora: Ana Luiza Albuquerque, Ursula Mendoza: Programa de Graduação em Química, UFF.

MELLO, Bruno Vinícius de Souza. (Término em 2014). Análise de foraminíferos planctônicos no sistema de ressurgência de Cabo Frio. Orientadora: Ana Luiza Albuquerque: Programa de Graduação em Química, UFF.

MACHADO, Thiago Azevedo dos Santos. (Término em 2014). Análise de foraminíferos planctônicos no sistema de ressurgência de Cabo Frio. Orientadora: Ana Luiza Albuquerque: Programa de Graduação em Química, UFF.

CALDEIRA, Pedro. (Término em 2014). Análise de radioisótopos em material particulado e de fundo no sistema de ressurgência de Cabo Frio. Orientador: Emmanuel Silva-Filho: Programa de Graduação em Biofísica, UFRJ.

RESUMOS E TRABALHOS APRESENTADOS EM CONGRESSOS

2013

CARICCHIO, C.; Belem, A.L.; Albuquerque, A.L.S. (2013). Aplicação de técnicas combinadas de L-ADCP, estações hidrográficas e altimetria na determinação do padrão de circulação de mesoescala no oceano. *X Simpósio sobre ondas, marés, engenharia oceânica e oceanografia por satélite (OMAR-SAT) – 2013*.

DIAS, B.B.; Galliza, L.; Barbosa, C.F.; Albuquerque, A.L. (2013). Late Holocene productivity in the southeast Brazilian continental shelf. *10th Applied Isotope Geochemistry Conference, AIG-10 – 2013*.

DIAZ, R.; Mendoza, U.; Böttcher, M.; Moreira, M.; Machado, W.; Capilla, R.; Albuquerque, A.L.S. (2013). Sulfurization of humic acids during early diagenesis in surface sediments of a tropical upwelling system. *Goldschmidt Conference – 2013*.

DIAZ, R.; Marques, A.; Moreira, M.; Mendoza, M.; Machado, W.; Böttcher, M.; Capilla, R.; Albuquerque, A.L. (2013). Geoquímica do enxofre em sedimentos Holocênicos do sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ). *Congresso Brasileiro de Geoquímica - 2013*.

FARIA, G.R.; Barbosa, C.F.; Albuquerque, A.L. (2013). Produtividade na plataforma continental de Cabo Frio (RJ) com base em foraminíferos bentônicos. *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA) – 2013*.

GALLIZA, L.M.; Dias, B.B.; Albuquerque, A.L.S.; Barbosa, C.F. (2013). Biometria de foraminíferos bentônicos para análise de paleoprodutividade na área de ressurgência de Cabo Frio durante o Holoceno Superior. *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA) – 2013*

GOMES, C.M.M.; Mendoza, U.; Albuquerque, A.L.S.; Capilla, R.; Ayres, A. (2013). Echo-character identification and grain size analysis of the upwelling system of Cabo Frio, RJ. *Rio Acoustic - 2013*.

KÜTTER, V.T.; Silva, G.O.A.; Fonseca, R.S.; Almeida, E.V.; Albuquerque, A.L.S.; Silva, E.V. (2013). Asamblea zooplancónica en la área de influencia de la surgencia de Cabo Frio, Sureste del Brasil. *XV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar (COLACMAR) – 2013*.

KÜTTER, V.T.; Almeida, E.V.; Albuquerque, A.L.; Belém, A.L.; Venancio, I.M.; Silva, E.V. (2013). Metales en la comunidad planctónica en el área de influencia de la surgencia de Cabo Frio, Sureste del Brasil. *XV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar (COLACMAR) – 2013*.

MACHADO, T.A.S.; Santos, T.P.; Albuquerque, A.L.S. (2013). Assembleias de foraminíferos planctônicos da plataforma continental de Cabo Frio durante o Holoceno médio-superior. *XXV Semana Nacional de Oceanografia – 2013*.

MACHADO, T.; Santos, T.; Lessa, D.; Portilho, R.; Albuquerque, A.L. (2013). Interpretações paleoceanográficas na plataforma continental de Cabo Frio durante o Holoceno médio-superior através da razão Gb:Gr. *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA) – 2013*.

MENDOZA, U.; Diaz, R.; Moreira, M.; Amorim, N.; Böttcher, W.; Machado, W.; Patchineelam, S.R.; Capilla, R.; Albuquerque, A.L. (2013). Early diagenesis of sulfur and trace element pyritization in sediments of a tropical upwelling system: Cabo Frio, southeastern Brazil. *Goldschmidt Conference – 2013*.

MENDOZA, U.; Viollier, E.; Capilla, R.; Albuquerque, A.L. (2013). Oxygen determination in the sediment-water interface of the western boundary current upwelling system of Cabo Frio, Southeast Brazil. *Marine Brazil: Building the marine science. French Brazilian - 2013*.

MOREIRA, M.; Diaz, R.A.; Mendoza, U.; Capilla, R.; Böttcher, M.E.; Albuquerque, A.L.S.; Machado, W. (2013). Processos de oxidação da pirita como controlador da sensibilidade da piritização dos elementos-traços. *XV Congreso Latinoamericano de Ciências del Mar (COLACMAR) – 2013*.

MOREIRA, M.; Díaz, R.; Mendoza, U.; Capilla, R.; Albuquerque, A.L.; Machado, W. (2013). Susceptibilidade da piritização dos elementos-traços aos processos de oxidação da pirita. *Congresso Brasileiro de Geoquímica - 2013*.

SILVA-FILHO, E.V.; Figueiredo, T.S.; Albuquerque, A.L. (2013). Geoquímica do Hg ao longo de perfis sedimentares coletados na área de ressurgência de Cabo Frio-RJ. *Congresso Brasileiro de Geoquímica - 2013*.

VENANCIO, I.M.; Mulitza, S.; Belem, A.L.; Albuquerque, A.L.; Capilla, R. (2013). Variações sazonais no fluxo e composição isotópica de foraminíferos planctônicos na plataforma continental sudeste do Brasil. *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA) – 2013*.

VENANCIO, I.M.; Belém, A.L.; Azevedo, A.E.G.; Zucchi, M.R.; Albuquerque, A.L.S.; Capilla, R. (2013). Distribuição de isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) na plataforma continental sudeste do Brasil. *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA) – 2013*.

PRÊMIOS

2013

MARQUES, A.C.S.; Diaz, R.A.R.; Moreira, M.; Mendoza, U.; Albuquerque. 2013. Geoquímica sedimentar do enxofre na reconstrução da ressurgência em sedimentos holocênicos de Cabo Frio (RJ). XXIII Seminário de Iniciação Científica e Prêmio UFF Vasconcellos Torres de Ciência e Tecnologia. 2da Colocação, Área Ciências Exatas da Terra.

Referências Gerais

Albuquerque, A.L.; Belem, A.L.; Zuluaga, F.J.B.; Cordeiro, L.M.G.; Mendoza, U.; Knoppers, B.A.; Gurgel, M.H.C.; Meyers, P.A.; Capilla, R. 2014. Particle fluxes and bulk geochemical characterization of the Cabo Frio upwelling system in southeastern Brazil: Sediment trap experiments between Spring 2010 and Summer 2012. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*. 86(2), Junho. (Aceito)

Albuquerque, A.L.S.; Belém, A.L.; Portilho, R.; Mendoza, U. Barbosa, C.F.; Santos, H. 2012. Projeto Ressurgência – Processos geoquímicos e oceanográficos no limite entre Bacias de Campos e Santos: passado e presente. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v.20, n. 1/2, p. 193-210.

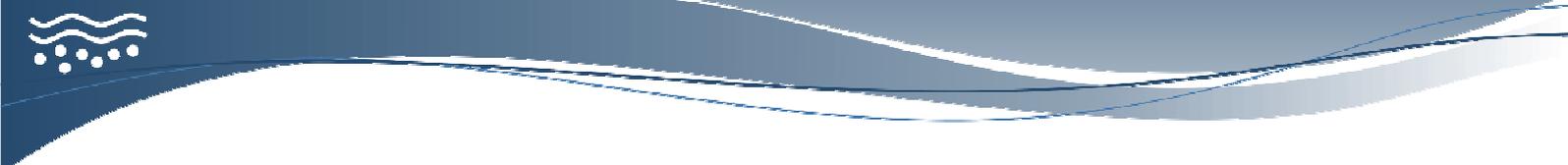
Albuquerque, A.L.S.; Belem, A.; Capilla, R. 2014. Particle fluxes and source characterization on a Western Boundary Upwelling System in Southeastern Brazil: Sediment Trap Experiments. *Ocean Sciences Meeting 2014, Panel session 082, Honolulu, Hawaii USA*.

Anand, P., Elderfield, H., Conte, M.H. 2003. Calibration of Mg/Ca thermometry in planktonic foraminifera from a sediment trap time series. *Paleoceanography*, vol. 18, pp. 1050.

Andrews, J. T., Smith, L. M., Preston, R., Cooper, T. and Jennings, A. E. (1997a). Spatial and temporal patterns of iceberg rafting (IRD) along the East Greenland margin, ca. 68 N, over the last 14 cal. ka. *Journal of Quaternary Science*, 12(1), 1-13.

- Angulo, R. J., and Lessa, G. C. (1997b). The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions. *Marine Geology*, 140(1), 141-166.
- Angulo, R. J.; Souza, M. C. D.; Reimer, P. and Sasaoca, S. K. 2005. Reservoir effect of the southern and southeastern Brazilian coast. *Radiocarbon* 47 (1-7).
- Belem, A.; Albuquerque, A.L.S; Cordeiro, L.G.; Mendoza; U.N.; Fenili, L.H. 2014. Oceanographic Biogeochemical Control of Particulate Matter Fluxes in a Western Boundary Upwelling System. Ocean Sciences Meeting 2014, Panel session 023, Honolulu, Hawaii USA.
- Belem, A.; Castelao, R.M; Albuquerque, A.L.S. Control of subsurface temperature variability in a western boundary upwelling system. *Geophysical Research Letter*. 2013. 40, 1362-1366, doi:10.1002/grl.50297.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I. and Bonani, G. (1997). A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *science*, 278(5341), 1257-1266.
- Böttcher, M.E. et al (2010) Stable sulfur isotopes indicates net sulfate reduction in near-surface sediments of the deep Arabian Sea. *Deep-Sea Research II* 47: 2769-2783.
- Castelao, M.R., Barth, J.A., 2006. Upwelling around Cabo Frio, Brazil: the importance of wind stress curl. *Geophys. Res. Lett.*, vol. 33, L03602.
- Castelao, R. M. 2012. Sea surface temperature and wind stress curl variability near a cape, J. *Phys. Oceanogr.*, 42, 2073–2087, doi:10.1175/JPO-D-11-0224.1.
- Castro Filho, B.M. e L.B. Miranda. 1998. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 40°N and 34°S coastal segment (40°W). In: *The sea*, pp. 209-251.
- Castro, B. M., 2014, Summer/winter stratification variability in the central part of the South Brazil Bight, *Continental Shelf Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2013.12.002>.
- Cerda, C. e Castro, B. M., 2014, Hydrographic climatology of South Brazil Bight shelf waters between São Sebastião (24°S) and Cabo de São Tomé (22°S), *Continental Shelf Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2013.11.003>.
- Cheng, H., Fleitmann, D., Edwards, R. L., Wang, X., Cruz, F. W., Auler, A. S., Mangini, A., Wang, Y., Kong, X., Burns, S. J. and Matter, A. (2009). Timing and structure of the 8.2 kyr BP event inferred from $\delta^{18}O$ records of stalagmites from China, Oman, and Brazil. *Geology*, 37(11), 1007-1010.
- Cordeiro, L.G.M.S.; Belem, A.L.; Bouloubassi, I.; Rangel, B.; Siffedine, A.; Capilla, R.; Albuquerque, A.L.S.. 2013. Southwestern Atlantic Sea Surface Temperature reconstruction during the last Century: Cabo Frio Continental shelf. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* (submetido).

- De BEER, D. et al. (2005) Transport and mineralization rates in North Sea sandy intertidal sediments, Sylt Romo Basin, Wadden Sea. *Limnology and Oceanography* 50: 113-127, 2005
- Diaz, R.; Moreira, M.; Mendoza, U.; Machado, W.; Böttcher, M. E.; Santos, H.; Belem, A.L.; Capilla, R.; Escher, P.; Albuquerque, A. L. Early diagenesis of sulfur in a tropical upwelling system, Cabo Frio, southeastern Brazil. *Geology*. 2012, 40(10), 879-882.
- Faria, G.R.; Barbosa, C.F.; Albuquerque, A.L. 2014. Secular productivity on the upwelling system of SE Brazil based on benthic foraminífera. *Ocean Sciences Meeting 2014, Panel session 007*, Honolulu, Hawaii USA.
- Graça, et al. (2006) Pore water phosphate and ammonia below the permanent halocline in the south-eastern Baltic Sea and their benthic fluxes under anoxic conditions. *Journal of Marine Systems* 63,141–154, 2006.
- Haug, G. H., Hughen, K. A., Sigman, D. M., Peterson, L. C., & Röhl, U. (2001). Southward migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene. *Science*, 293(5533), 1304-1308.
- Huyer, A., 1983. Coastal upwelling in the California Current System, *Prog. Oceanogr.*, 12, 259–284.
- Kucera, M. 2007. Planktonic foraminífera as tracers of past oceanic environments. In: Marcel-Hillarie, C. e Vernal, A. (Eds), 2003, *Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography*. Elsevier, 843 p.
- Mahiques, M. M., Bicego, M. C., Silveira, I. C., Sousa, S. H., Lourenço, R. A. and Fukumoto, M. M. (2005). Modern sedimentation in the Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazilian shelf. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 77(3), 535-548.
- Matsuura, Y., 1996. A probable cause of recruitment failure of Brazilian Sardine (*Sardinella aurita*) population during the 1974/75 spawning season, *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 17, 29–35.
- Mazzini, P. L. F. e Barth, J. A., 2013, A comparison of mechanisms generating vertical transport in the Brazilian coastal upwelling regions, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 1 – 17, doi: 10.1002/2013JC008924.
- Mulitza, S., Boltovskoy, D., Donner, B., Meggers, H., Paul, A., Wefer, G. 2003. Temperature relationships of planktic foraminifera collected from surface waters. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, vol.202, pp. 143-152.
- Nagai, R. H., Sousa, S. H. M., Burone, L. and Mahiques, M. M. (2009). Paleoproductivity changes during the Holocene in the inner shelf of Cabo Frio, southeastern Brazilian continental margin: Benthic foraminifera and sedimentological proxies. *Quaternary International*, 206(1), 62-71.
- Palma, E. D. e Matano, R. P., 2009, Disentangling the upwelling mechanisms of the South Brazil Bight, *Continental Shelf Research*, 29, 1525 – 1534.

- 
- Pierre, C., Vergnaud-Grazzini, C., Faugeres, J.C. 1991. Oxygen and carbon stable isotope tracers of the water masses in the Central Brazil Basin. *Deep Sea Research*, vol. 38, pp. 597-606.
- Pivel, M. A. G., Santarosa, A. C. A., Toledo, F. A. L. and Costa, K. B. C. (2013). The Holocene onset in the southwestern South Atlantic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 374, Pages 164-172.
- Roughan, M., and J. H. Middleton, 2002. A comparison of observed upwelling mechanisms off the east coast of Australia. *Cont. Shelf Res.*, 22, 2551–2572
- Santos, T.P.; Franco, D.; Barbosa, C.F.; Belem, A.L.; Albuquerque, A.L. 2014. Millennial- to centennial-scale changes in sea surface temperature in the tropical South Atlantic over the last 10.000 years. *Ocean Sciences Meeting 2014, Panel session 113, Honolulu, Hawaii USA.*
- Seeberg-Elverfeldt, J. et al. (2005) Rhizon in situ sampler (RISS) for pore water sampling from aquatic sediments. *Limnological and Oceanographic Methods* 3:361–371.
- Shotbolt, L. (2010) Pore water sampling from lake and estuary sediments using Rhizon samplers. *Journal of Paleolimnology*. 44: 695–700.
- Silveira, I. C. A., Schmidt, A. C. K., Campos, E. J. D., Godoi, S. S. and Ikeda, Y. (2000). A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 48(2), 171-183.
- Smith, N. P., 1983. Temporal and spatial characteristics of summer upwelling along Florida's Atlantic shelf, *J. Phys. Oceanogr.*, 13, 1709–1715.
- Souto, D. D., de Oliveira Lessa, D. V., Albuquerque, A. L. S., Sifeddine, A., Turcq, B. J., & Barbosa, C. F. (2011). Marine sediments from southeastern Brazilian continental shelf: A 1200year record of upwelling productivity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 299(1), 49-55.
- Souza, C. R. G.; Suguio, K.; Oliveira, A. M. S. and Oliveira, P. E. *Quaternário do Brasil*. São Paulo, Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2005, 379 p.
- Toledo, F. A., Costa, K. B., Pivel, M. A., and Campos, E. J. (2008). Tracing past circulation changes in the western south Atlantic based on planktonic foraminifera. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11(3), 169-178.

