



PROJETO RESSURGÊNCIA

1º Relatório Científico

Período de 17/12/2012 até 12/07/2013



Niterói – RJ, Julho de 2013

Rede Temática
de Geoquímica



Conteúdo

Introdução: A Plataforma Continental de Cabo Frio - construção do Modelo Conceitual dos processos físicos e biogeoquímicos.....	10
Etapa PR03 - Planejamento das estratégias de coleta, preservação e análises	12
Etapa EO07 - Lançamento do Fundeio F-150#06 – Acoplamento Físico-biogeoquímico na Coluna d'água.....	13
Etapa EO08 - Caracterização geoquímica das massas d'água	15
Etapa EO09 - Paleoceanografia regional e variabilidade climática.....	17
Continuidade do projeto e perspectivas futuras	20
Referências	21

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 / 8081-4000

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 G.M.S. Cordeiro	UFF	Geoquímica orgânica	Pesq. Contratada
Úrsula Maria Mendoza	UFF	Geoquímica inorgânica	Pesq. Contratada
Marcela Santos	UFF	Técnico Apoio	Téc. Contratada
Whertz Amoz Sales	UFF	Técnico Apoio	Téc. Contratado
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
Bruno Turcq	IRD-França	Sedimentologia	Pesq. Associado
Caroline Slomp	Utrecht-Holanda	Modelagem diagenética	Colaborador
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
Renato M. Castelão	Un. Georgia-EUA	Oceanografia física	Colaborador

(...continuação)

NOME	INSTITUIÇÃO	ESPECIALIDADE	FUNÇÃO
Douglas V.O Lessa	UFF	Foraminíferos	Pós-Doutor
Rut A. Diaz Ramos	UFF	Biogeoquímica enxofre	Doutoranda
Nívea Santos Amorim	UFF	Geoq. água intersticial	Doutoranda
Manoel Moreira	UFF	Biogeoquímica metais	Doutorando
Clauzira M. Mendonça	UFF	Geofísica	Mestranda
Gabrielle Faria	UFF	Foraminíferos bentônicos	Mestranda
Igor Martins Oliveira	UFF	Foraminífero/Isotopia	Mestrando
Patrícia P. Borges	UFF	Oceanografia Biológica	Mestranda
Vitor Pereira Gomes	UFF	Foraminíferos	Mestrando
Pedro Paes Caldeira	UFRJ	Geocronologia isotópica	Bolsista grad.
Andressa C. Marques	UFF	Geoquímica Marinha	Bolsista PIBIC
Ana Carolina Cupollilo	UERJ	Oceanografia Física	Bolsista AGIR
Camila Reveles	UERJ	Oceanografia Física	Estagiária
Thiago Machado	UERJ	Foraminíferos	Estagiário

Motivação do Projeto

A região de Cabo Frio, especificamente o Alto Estrutural de Cabo Frio, representa o limite físico e geológico entre duas das principais bacias produtoras de petróleo da costa brasileira, as Bacias de Campos e de Santos, atuando como uma região-chave para o entendimento dos processos de transformação e exportação de material entre bacias. Além disto, devido a peculiaridades fisiográficas da região, Cabo Frio pode ser considerado como um limite oceanográfico, sedimentológico e biológico, marcados pela presença semi-permanente do fenômeno de ressurgência das Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS) sobre a plataforma continental, e também pela mudança brusca do eixo da Corrente do Brasil acompanhando a borda da plataforma continental, constituindo um dos únicos Sistemas de Ressurgência de Borda Oeste dos oceanos (W-BUS: *Western Boundary Upwelling System*).

Embora a oceanografia de Cabo Frio seja uma das mais bem estudadas da costa brasileira, grande parte do conhecimento adquirido ao longo dos últimos anos aborda apenas a faixa mais costeira, dentro de embaiamentos ou em isóbatas inferiores a 100 metros, com abordagens disciplinares e não tão integradas, ou, grandes experimentos de modelagem ou levantamentos oceânicos com foco na Corrente do Brasil, em profundidades que correspondem ao talude e oceano aberto. Neste contexto, o Projeto Ressurgência (2009-2013) avançou o conhecimento sobre a plataforma continental, inovando na abordagem de processos que interligam estas províncias oceanográficas e controlam a produção e deposição de partículas ao longo de toda plataforma continental, como também e, principalmente, pelo acoplamento entre as variáveis físicas, a hidrodinâmica local/regional, a geoquímica do material particulado em suspensão, o processo de sedimentação e a diagênese sobre a plataforma (Figura 1). Vale ainda ressaltar alguns dos principais resultados alcançados no triênio 2009-2012 do Projeto Ressurgência, cujo detalhamento encontra-se disponível nos Relatórios Científicos Parciais I, II e III:

1. A ação de 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 (Belem et al., 2013);
2. A contribuição de múltiplas fontes para a composição do material particulado transportado e acumulado na plataforma continental em decorrência da hidrodinâmica regional, 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);
3. O estabelecimento de um modelo conceitual que descreve o papel das massas d'água oxigenadas somado a ação dos organismos bioturbadores 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);
 4. As variações do nível do mar no limite Pleistoceno-Holoceno que conferiram à plataforma continental de Cabo Frio características diversas de circulação, paleoambientes, aportes e processos geoquímicos, cujos efeitos apenas poderão ser compreendidos com o estudo de sedimentos depositados sem a influência direta deste fenômeno, ou seja, na borda mais externa da plataforma continental moderna (Albuquerque et al., 2013b).

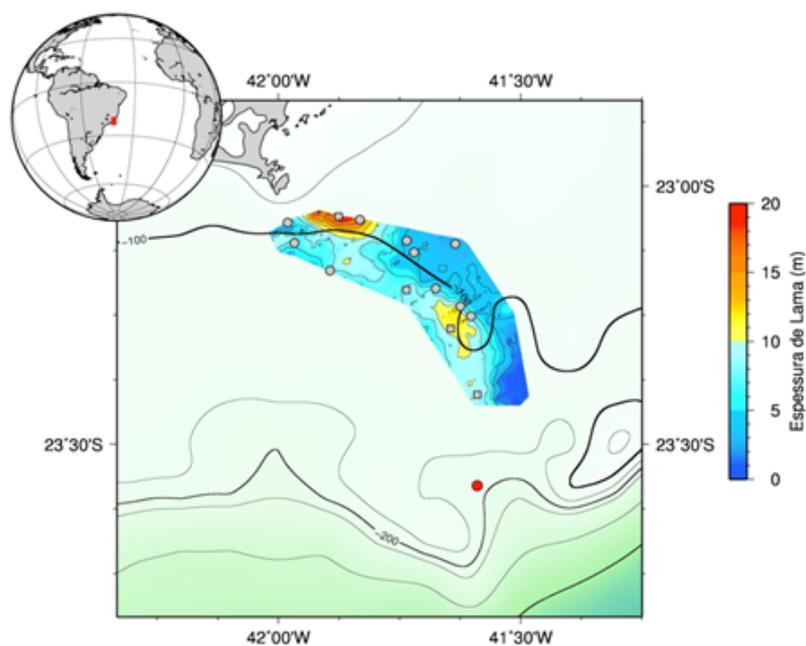


Figura 1 Distribuição dos pontos amostrais (P1 a P17) no banco lamoso estudado na plataforma continental de Cabo Frio durante a Fase I do Projeto. O gradiente de cores representa a espessura do banco de lama e os círculos cinza representam as posições de amostragem. O fundeio oceanográfico F-150 está marcado como um círculo vermelho.

Baseados nestes resultados promissores, o Projeto Ressurgência teve sua continuidade estabelecida para o triênio 2013-2016 com foco na análise dos testemunhos longos (kullenbergs) coletados na plataforma continental, juntamente com o aumento da resolução espacial com testemunhos curtos (multicorer), objetivando entender a variabilidade dos processos de acumulação de matéria orgânica ao longo do Holoceno e os mecanismos geoquímicos associados. Além disso, a Fase 2 do Projeto Ressurgência continuará assumindo a região de Cabo Frio como um análogo moderno de processos, cujos modelos conceituais produzidos poderão ser adotados para o entendimento de processos em escalas geológicas diversas, e dessa forma, fortalecendo a abordagem de acoplamento de processos

físicos e bio-geoquímicos com a oceanografia regional. Dentro de suas atividades propostas, o Projeto Ressurgência Fase 2 está dando continuidade ao monitoramento da oceanografia local através de fundeios oceanográficos, permitindo entender não só os mecanismos geradores, transformadores e exportadores de material sedimentar, como também estimar com precisão os fluxos de matéria na plataforma continental.

Com base nessas premissas e com o foco nos objetivos traçados pelo Projeto Ressurgência, este relatório tem por objetivo descrever as atividades técnico-científicas realizadas até o momento, dentro do mapeamento dos processos gerenciais e seus resultados científicos parciais até agora obtidos.

ALBUQUERQUE, A.L.S.; BELEM, A.L., ZULUAGA, F.J.B.; CORDEIRO, L.G.M.; MENDOZA, U.; KNOPPERS, B.A.; GURGEL, M. H. C.; MEYERS, P. A.; CAPILLA, R. Particle Fluxes and Bulk Geochemical Characterization on the Cabo Frio Upwelling System, Southeastern Brazil: Sediment Trap Experiments between Spring 2010 and Summer 2012. Anais Acad. Bras. Cien. 2013a. (aceito para publicação).

ALBUQUERQUE, A.L.S.; BELEM, A.L., PORTILHO, R. MENDOZA, U.; BARBOSA, C. F.; SANTOS, H. Projeto Ressurgência – Processos geoquímicos e oceanográficos no limite entre Bacias de Campos – Santos: passado e presente. Boletim de Geociências da Petrobras. 2013b (aceito para publicação).

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.

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.

1º Relatório Científico

Este 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. Para detalhamento das etapas de execução seguindo a metodologia de gerenciamento de projetos, o documento de referência é o Relatório de Acompanhamento Gerencial (RAG). A tabela abaixo ordena as atividades propostas no RAG e utilizadas no RC, para facilitar o acompanhamento das atividades.

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 2. O símbolo * marca as atividades científicas já iniciadas e descritas neste relatório.

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

Introdução: A Plataforma Continental de Cabo Frio - construção do Modelo Conceitual dos processos físicos e biogeoquímicos

As regiões de ressurgência costeira têm sido intensamente estudadas ao longo das últimas 4 décadas, em parte por causa de sua grande importância para os ecossistemas costeiros, principalmente no que se refere ao seu potencial produtivo e impacto nas atividades de pesca. Nessas áreas, águas profundas sobem até a zona eufótica trazendo nutrientes e influenciando a distribuição de fitoplâncton, realizando assim a manutenção de uma teia alimentar altamente produtiva. No entanto, a maioria dos estudos sobre as áreas de ressurgência tem se concentrado nas bordas lestes dos oceanos (por exemplo, Huyer, 1983). Já nas regiões de contorno oeste estes trabalhos são bem menos frequentes (por exemplo, Corrente Leste Australiana: Roughan e Middleton, 2002; Flórida: Smith, 1983). Na costa brasileira, uma destas regiões é a plataforma continental de Cabo Frio que tem recebido um foco de atenção ao longo da última década, principalmente pela sua proximidade com as bacias produtoras de óleo e gás do Brasil.

A peculiaridade de Cabo Frio é reforçada pela sua oceanografia local. Enquanto a região offshore é dominada pela quente e oligotrófica. Água Tropical que flui para sul, os ventos predominantemente de nordeste e favoráveis à ressurgência durante a primavera e o verão (Castro e Miranda, 1998) controlam os eventos de água fria na superfície na região costeira (Figura 2). A presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) enriquece a coluna de água com nutrientes e suporta a produtividade local (Matsuura, 1996). No entanto, recentemente outros mecanismos além da ressurgência costeira têm sido sugeridos como importantes para a intrusão de águas frias na zona eufótica, em um processo denominado ressurgência de sub-superfície, e que ocorre por toda a plataforma continental sudeste.

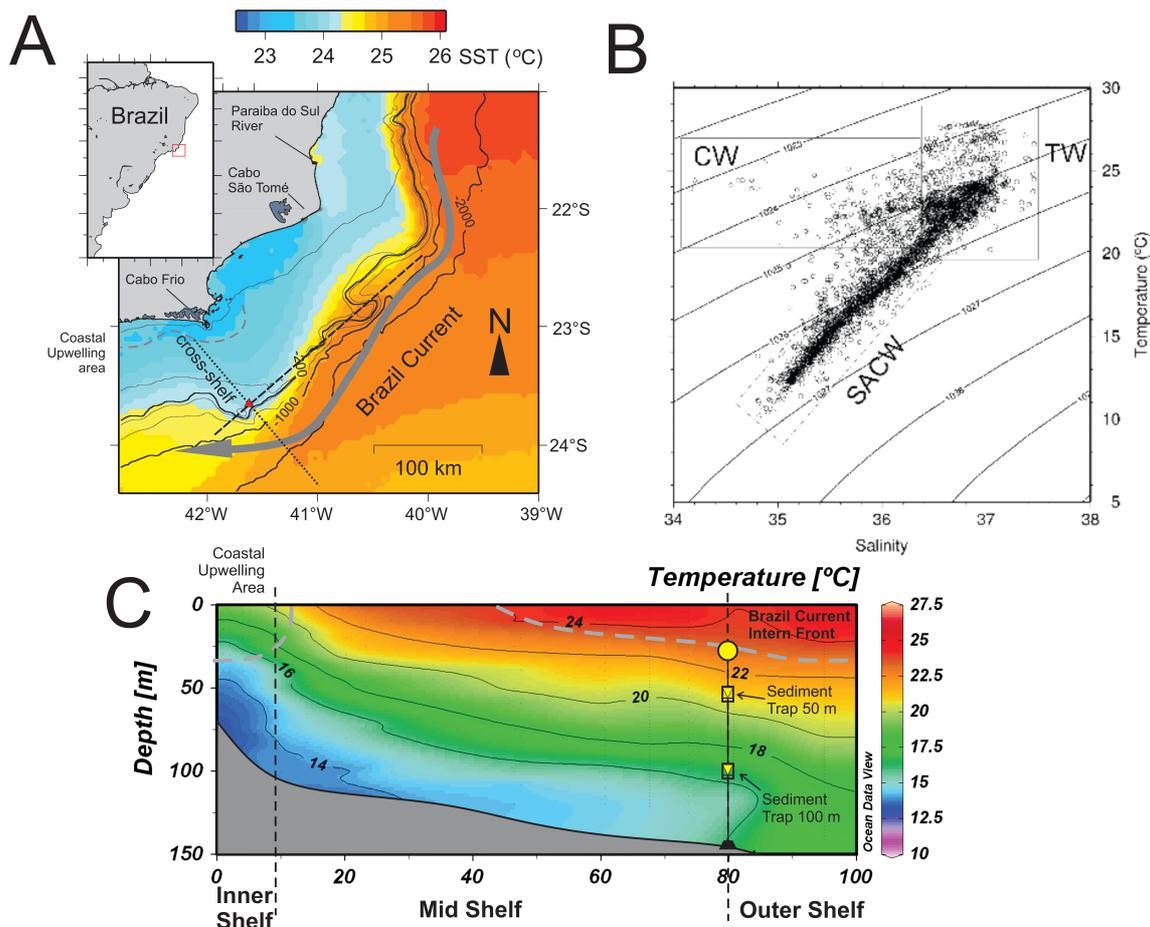


Figura 2(A) Oceanografia regional com a distribuição de temperatura superficial na região de Cabo Frio; (B) Distribuição de massas d'água na região, e (C) seção cross-shelf com a distribuição vertical de massas d'água e a posição do fundeio oceanográfico F-150.

O transporte vertical induzido pelo divergente do vento no meio da plataforma é um dos processos na mesma ordem de magnitude do transporte de Ekman, como estudado por Castelao e Barth (2006) e Castelao (2012). Já a região offshore de Cabo Frio apresenta uma combinação da circulação clássica das regiões de borda ocidental e vários mecanismos de afloramento associados a ondas internas e maré. Com base no conhecimento adquirido durante o Projeto Ressurgência Fase I (2009-2012) foi produzido na primeira etapa da Fase II do projeto, um 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 (Figura 3). As áreas A, B e C dividem a plataforma em função de características bem distintas, que são elas: (A) a área offshore da plataforma, com profundidades maiores que 140 m e inclinação moderada quando comparada com a plataforma média, e sob o domínio da Corrente do Brasil e processos de intrusão da ACAS na zona eufótica controlados basicamente por marés, vórtices e meandros da CB; (B) a plataforma média, com aprox. 65 km de extensão e com uma inclinação do fundo marinho bastante suave, onde os processos de ascensão da ACAS são controlados efetivamente pela disponibilidade da mesma na plataforma e pela ação do divergente do vento, formando frentes de plataforma; e

(C) corresponde a plataforma interna, com apenas 15 km de extensão, onde a inclinação do fundo marinho é bastante acentuada além do forte controle do Transporte de Ekman costeiro.

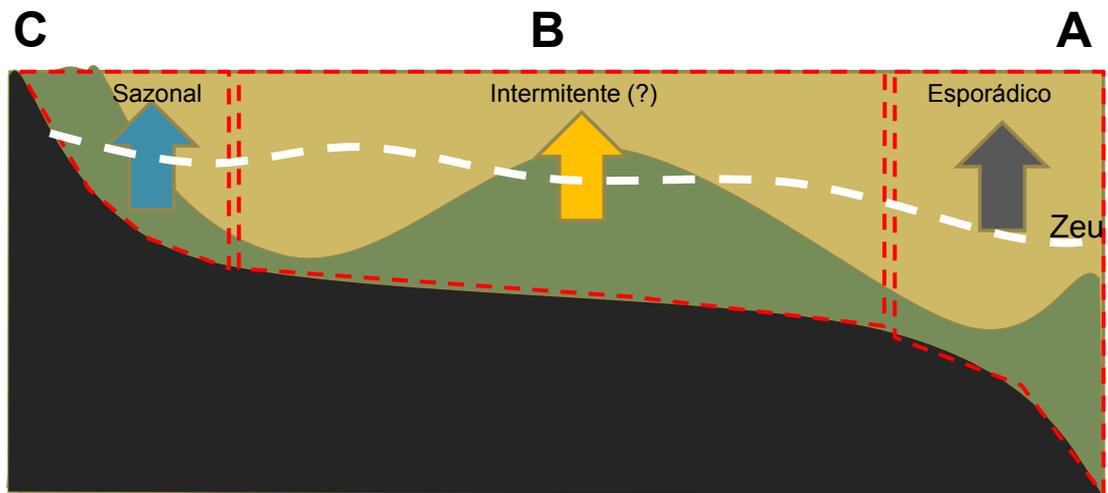


Figura 3 Modelo conceitual do cross-shelf na região de Cabo Frio, mostrando as diferentes províncias (A = plataforma externa, B = plataforma média e C = plataforma interna) em relação à profundidade relativa da ACAS (marcada em verde escuro) e da zona eufótica (linha tracejada branca).

A definição destas regiões e do modelo conceitual permitiu ao Projeto Ressurgência Fase II concentrar esforços na busca por respostas aos objetivos científicos do projeto, bem como a delimitação de subáreas de estudo com foco na oceanografia e biogeoquímica regional de forma a completar as tarefas descritas na Tabela 1. A seguir, as atividades científicas das etapas do projeto e executadas no período de 17/12/2012 até 12/07/2013 estão sucintamente descritas.

Etapa PR03 - Planejamento das estratégias de coleta, preservação e análises

Com base no modelo conceitual exposto na Figura 3, e após duas reuniões de trabalho com o grupo de colaboradores do Projeto Ressurgência para discutir o modelo, suas características físicas e os objetivos científicos do projeto, foram determinadas as posições das novas estações de coleta de sedimentos curtos (multicore – EO04, Tabela 1) ao longo das áreas A, B e C, bem como a sequência de coleta e metodologia de preservação e análise. A coleta dos testemunhos curtos é a precursora das atividades EO05 e EO06 da Tabela 1.

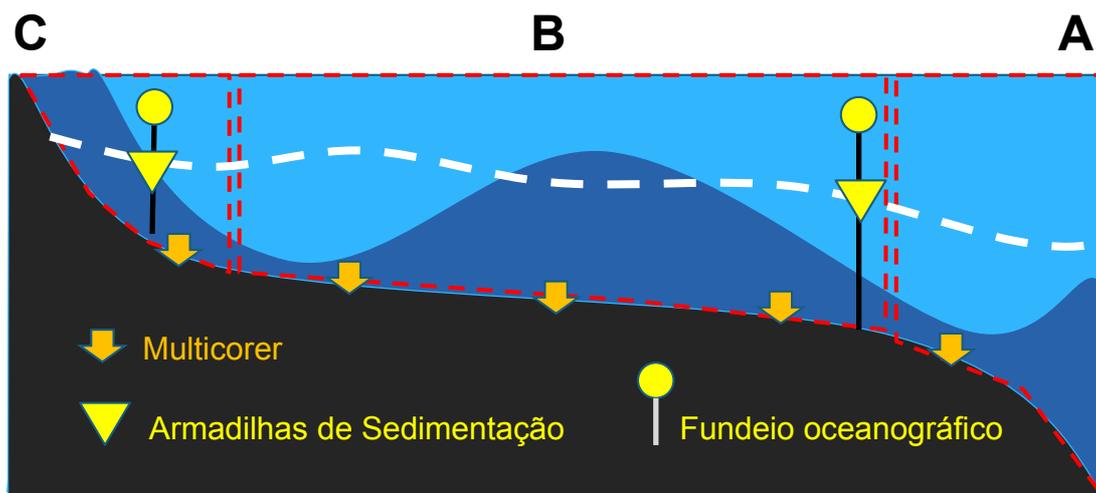


Figura 4 Distribuição das amostragens na seção cross-shelf de Cabo Frio. Os símbolos indicam coletas com Multicorer (setas), armadilhas de sedimentação (triângulo) em dois fundeios oceanográficos (círculo), um na área C (F-70) e outro na área A (F-150).

A Figura 4 apresenta a distribuição relativa dos pontos de coleta dos testemunhos curtos (multicorer) bem como a posição de instalação dos dois fundeios oceanográficos programados, F-150 (área A) e F-70 (área C), em relação ao modelo conceitual do definido na seção anterior. A distância entre os pontos de coleta obedece aproximadamente o raio de deformação de Rossby na latitude de Cabo Frio, que varia entre 15 e 18 km. Como os processos oceanográficos nas 3 áreas são diferenciados, durante a atividade de coleta serão realizados perfis verticais e caracterização hidrográfica de forma complementar as atividades de levantamento pelos fundeios oceanográficos (EO07) e o programa Waterhunters (EO08).

As metodologias de amostragem e conservação para os sedimentos (EO04) coletados com multicorer, a coleta da água intersticial e parâmetros físico-químicos (EO05) destas amostras, bem como a metodologia para análise das águas intersticiais e o processos de diagênese (EO06) serão detalhadamente descritos nos protocolos laboratoriais e de campo, produtos estes que serão disponibilizados no Relatório Final do Projeto Ressurgência Fase II.

Etapa E007 - Lançamento do Fundeio F-150#06 – Acoplamento Físico-biogeoquímico na Coluna d'água

Entre os dias 3 e 4 de junho de 2013, o fundeio F-150#06 foi lançado na área A, a cerca de 42 milhas da costa no *transect* de Cabo Frio, conforme planejado nas atividades do projeto relativos ao acoplamento físico-biogeoquímico da coluna d'água.



Figura 5 Equipamentos do fundeio a bordo do NHO Amorim do Valle, prontos para lançamento na área A.

A bordo do NHO Amorim do Valle, do Grupamento de Navios Hidro-Oceanográficos da DHN/Marinha do Brasil, os equipamentos foram configurados e montados para um experimento de aproximadamente 92 dias (Figura 5), de 4 de junho de 2013 até 9 de setembro de 2013 (considerando este tempo apenas a amostragem da armadilha de sedimentação. O restante dos equipamentos – CTDs, correntômetros e tidbits, coletarão informações até serem recuperados). Essa estratégia, de um experimento curto de 3 meses iniciais, foi escolhida em função da logística, tendo por base programar a operação de mar sempre para os meses de Fevereiro/Março e Setembro/Outubro de cada ano. Portanto, o experimento #07 do fundeio F-150 terá duração de 6 meses (de Setembro de 2013 a Março de 2014). Da mesma forma, o período mais curto permitirá o teste da nova configuração do fundeio. As principais alterações são: (1) instalação de um ADP de 150 KHz olhando para cima, para perfilar toda a coluna d'água, (2) instalação do ADP de 400 KHz em alta resolução, a 30 metros do fundo, para estudar a *benthic boundary layer*, (3) apenas uma única armadilha de sedimentação, instalada a 70 m de profundidade, e (4) extensão da linha de fundeio em 15 metros, permitindo uma proximidade maior dos equipamentos com o fundo e também com a superfície, passando o monitoramento de 110 m (Projeto Ressurgência Fase I) para 125 m (Projeto Ressurgência Fase II). O material que será coletado das armadilhas de sedimentação em Setembro/Outubro será analisado no LOOP-UFF (Laboratório de Oceanografia Observacional e Paleoceanografia), mas sem interferir com a atividade de monitoramento do Fundeio, que irá ocorrer de forma contínua.

Os resultados dos fundeios oceanográficos de 01 a 05, realizados na primeira fase do Projeto Ressurgência, revelaram que boa parte do material depositado nas armadilhas é oriundo da região da bacia de Campos (em um raio de aproximadamente 300 km ao redor do ponto de fundeio) (Figura 6). Essa estimativa foi feita com base na análise dos retro-vetores, obtidos pelos correntômetros instalados no fundeio, e integrados para cada garrafa/período de coleta das

armadilhas de sedimentação. Embora em alguns eventos o fluxo principal possa variar para os quadrantes W, S e SE, ainda assim é claro a forte contribuição da área de fluxo da Corrente do Brasil na região do fundeio.

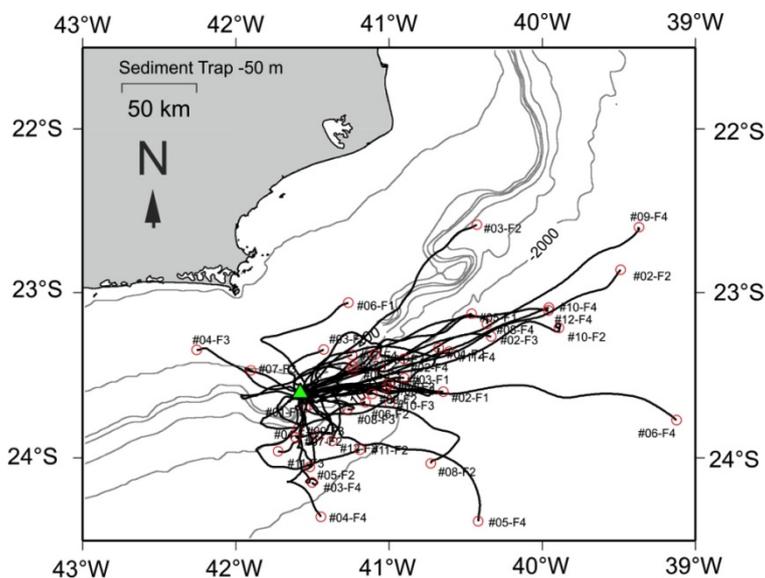


Figura 6 Retrovetores representando a trajetória do material particulado aprisionado em cada garrafa da armadilha de sedimentação, para os fundeios do Projeto Ressurgência Fase I.

O monitoramento contínuo das condições oceanográficas 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.

Etapa E008 - Caracterização geoquímica das massas d'água

Os foraminíferos planctônicos (Figura 7) são reconhecidamente os paleoproxies mais utilizados na atualidade, devido a sua capacidade de responder a variações ambientais na coluna d'água e de preservar suas carapaças no sedimento. Além disso, são excepcionais indicadores paleoclimáticos (Kucera, 2007) e guardam na formação de sua carapaça, uma assinatura geoquímica das condições oceanográficas reinantes durante seu tempo de vida na coluna d'água. Outro aspecto relevante é o fato de podermos estudar a mudança no fluxo destes para o sedimento como resultado de alterações nas condições oceanográficas e/ou climáticas. Os principais fatores ambientais que podem ser reconstruídos através da geoquímica de suas carapaças são a temperatura e a produtividade marinha (Mulitza et al., 2003)

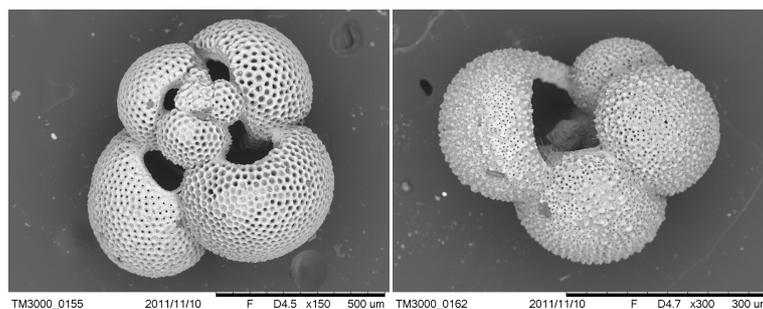


Figura 7 *Globigerina sacculifer* (esquerda) e *Globigerina bulloides* (direita) coletadas em sedimentos da área de Cabo Frio durante o Projeto Ressurgência Fase I.

No entanto, as reconstruções paleoceanográficas utilizando foraminíferos planctônicos coletados em testemunhos são normalmente baseadas em funções de transferência, e estas permitem interpretar o passado geológico, fazendo uso de dados do presente como análogos modernos, desde que o conhecimento das condições modernas sejam precisamente determinados. Para tal, parâmetros geoquímicos como o $\delta^{18}\text{O}$ e a razão Mg/Ca das carapaças de foraminíferos são utilizados para obtenção de informações a respeito das mudanças, por exemplo, da temperatura superficial da água do mar (Anand et al., 2003). Considerando que o principal sinal de mudanças paleoambientais, principalmente aquele conectado com uma mudança climática global, é a temperatura superficial do mar, os foraminíferos planctônicos podem ser utilizados como marcadores destes horizontes climáticos em um testemunho geológico de origem marinha. Embora estudos sobre a isotopia, distribuição faunística e composição da carapaça de foraminíferos planctônicos são amplamente realizados, trabalhos sobre a função de transferência e principalmente, o análogo moderno na região da borda oeste do Atlântico Sul são escassos. Deste modo, podemos observar a importância científica e econômica do uso destes indicadores para reconstrução de oscilações nos parâmetros ambientais da plataforma continental sudeste e para geração de melhores modelos de variações climáticas.

Para cumprir os objetivos propostos na atividade de caracterização geoquímica das massas d'água pelo Projeto Ressurgência Fase II, estão sendo realizados dois métodos de coleta distintos. No primeiro, buscamos caracterizar isotopicamente as massas d'água de Cabo Frio, a fim de obter os valores de "background" para a região e compreender melhor o equilíbrio isotópico entre a água e os foraminíferos. O segundo método de coleta, com o objetivo de entender a influência dos padrões oceanográficos nas variações dos fluxos de foraminíferos da coluna d'água para o sedimento, é realizado com uso das linhas de fundeio oceanográfico, exposto anteriormente. Os fundeios conseguem registrar os parâmetros físicos da coluna d'água, como temperatura, salinidade, intensidade e direção de corrente, além de coletar material em sedimentação para o fundo oceânico através de armadilhas de sedimento. O registro do material coletado pelas armadilhas é uma das atividades contínuas do projeto, de forma que sejam observadas variações sazonais nos fluxos.

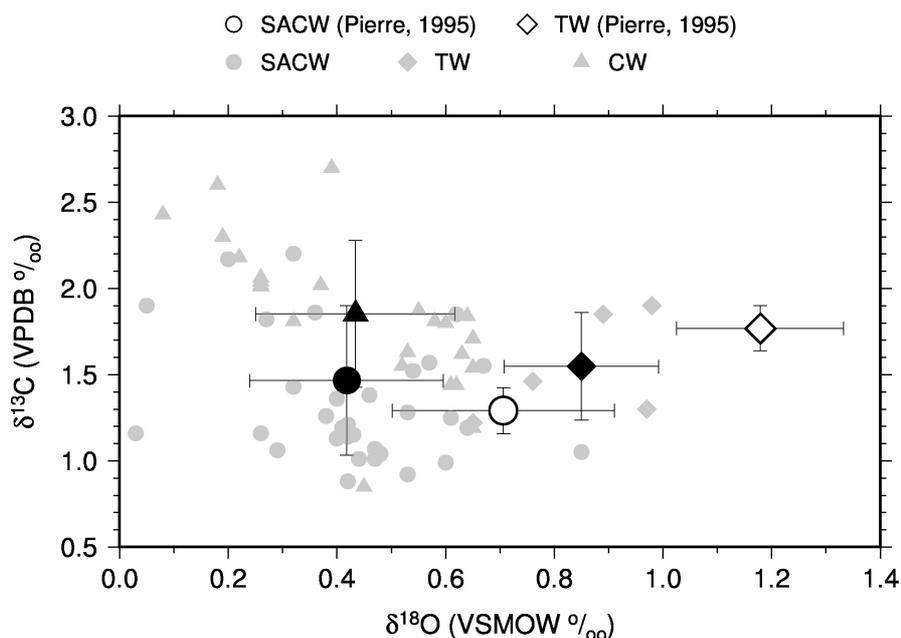


Figura 8 Dados isotópicos da região de Cabo Frio comparados com a região oceânica (Pierre, 1995) obtidos pelo Projeto Ressurgência até o momento.

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 8). 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.

Etapa E009 - Paleoceanografia regional e variabilidade climática

A análise de paleoproxies nos testemunhos curtos e longos coletados pelo Projeto Ressurgência Fase I (Figura 9) 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 centenais e milenares. Estes cenários serão os norteadores para testar hipóteses paleoclimáticas da área de estudo durante o Projeto Ressurgência Fase II.

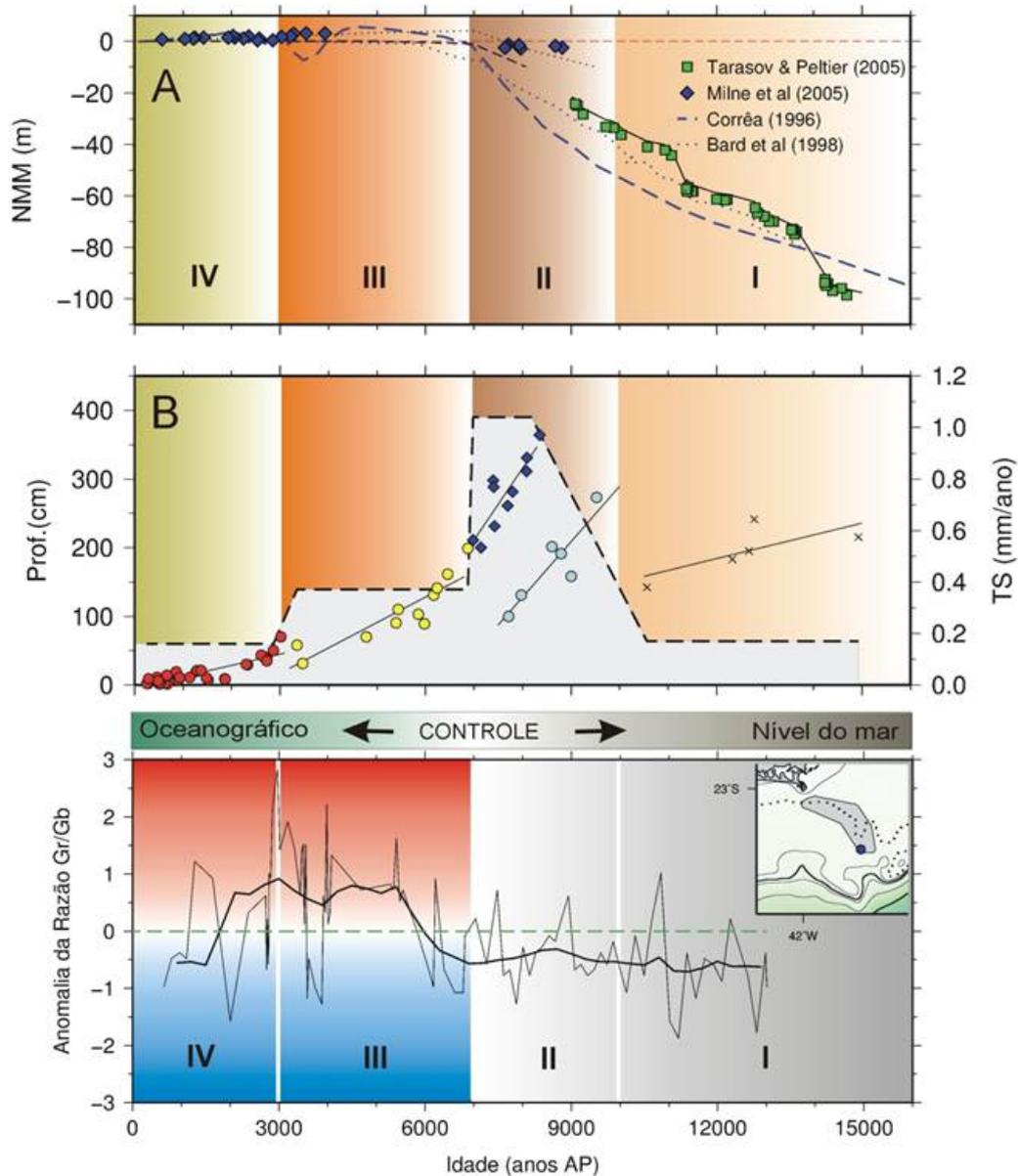


Figura 9 (A) Curvas de variação do nível do mar, (B) Taxas de Sedimentação e (C) variabilidade da razão Gr/Gb para a área da plataforma externa de Cabo Frio, conforme apresentado por Albuquerque et al. (2013) - Boletim de Geociências da Petrobras (*in press*) e no Relatório Executivo Final do Projeto Ressurgência Fase I.

Na condição Tipo-A, os registros sugerem que a intrusão de ACAS é diminuída sobre a plataforma, onde as correntes cross-isóbata são irregulares, mas ainda assim permitindo um potencial aumento da produtividade local e acúmulo de matéria orgânica, com ausência de sinal de ressurgência costeira ou CB, provavelmente causado pelo efeito do divergente do vento na região. Já na condição Tipo-B, embora a intrusão de ACAS na plataforma continue pequena, as correntes cross-isóbata onshore variam de forma a permitir um transporte de Ekman costeiro que marca o início do processo de ressurgência. Embora os dados do fundeio oceanográfico da Fase I tenham demonstrado que condições deste tipo estão associados a momentos de baixa produtividade, a sedimentação pode ser alta dependendo da posição da frente interna da CB. A condição Tipo-C é marcada por

uma forte intrusão de ACAS sobre a plataforma associada a um fluxo cross-isóbata forte (offshore) e aumento da produtividade com um sinal de ressurgência (águas frias) misturado com águas quentes (CB) que ainda estão presentes na plataforma. Por último, a condição Tipo-D é marcada por uma intrusão de ACAS forte com correntes cross-isóbata de considerável magnitude e conseqüente aumento da produtividade regional, sendo o sinal dominante da ressurgência (águas frias) com a ausência de sinal da CB.

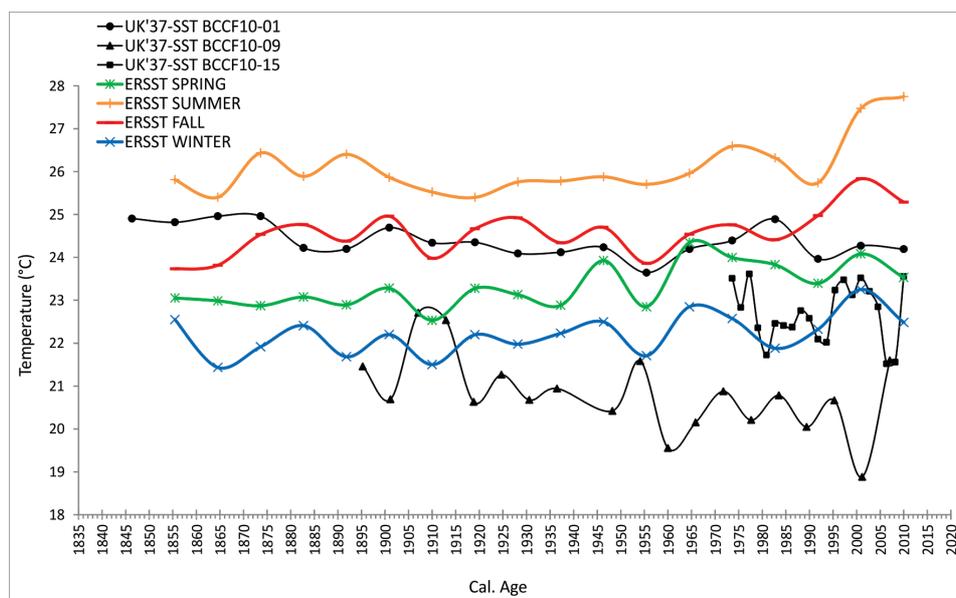


Figura 10 Reconstrução das temperaturas superficiais do mar na região de Cabo Frio utilizando Alquenonas como paleoproxy (Cordeiro et al, 2013 – submetido).

Na escala centenária recente, o uso de paleoproxies para a temperatura superficial do mar (Figura 10) permitiu verificar não só a variabilidade das condições oceanográficas em escalas de tempo geológico da ordem de uma centena de anos, como também auxiliou na compreensão do papel da ressurgência de Cabo Frio e da Corrente do Brasil na composição do sinal paleoclimático.

Já para as atividades de interpretação paleoambiental em escalas milenares, o uso de foraminíferos planctônicos tem sido empregado desde a fase I do Projeto Ressurgência. Neste sentido, o levantamento das assembléias de foraminíferos planctônicos nas distintas feições oceanográficas do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio ao longo dos últimos 11.500 anos de oceanografia foram marcados por episódios que estão sendo agora testados como hipóteses de trabalho juntamente com outros proxies. As hipóteses de trabalho são:

- O Pré-Holoceno (11,5 e 10,0 ka cal AP) - marcado por águas frias, produtivas e homogêneas sob influência de ressurgência costeira devido ao baixo nível do mar;
- Holoceno inferior (10,0 e 9,0 ka cal AP) - marcado por águas um pouco mais quentes, mas ainda produtivas e homogêneas devido ao afastamento da área

de ressurgência costeira com a transgressão marinha e aproximação e contribuições crescentes da AT;

- Holoceno médio superior (9,0 e 5,0 ka cal AP) - estabelecimento da estrutura oceanográfica atual no final do lowstand do nível do mar (após 9,0 ka cal AP) com águas ainda frias, produtivas e homogêneas até 7,0 ka cal AP na parte distal do SRCF, com início de estratificação da água após esta idade e forte influência da frente da Corrente do Brasil até 6,0 ka cal AP, caracterizando um período de ressurgência atenuada. Águas frias e homogêneas até 6,0 ka cal AP na porção proximal da plataforma continental. O primeiro máximo de contribuição da AT entre 6,0 e 5,0 ka cal AP, onde a ressurgência se torna predominantemente atenuada e limitada a subsuperfície em todo o SRCF, com um princípio de avanço de contribuições mais continentais no sentido da plataforma externa do SRCF;
- Holoceno médio inferior (5,0 e 2,5 ka cal AP) - o primeiro máximo da ACAS entre 5,0 e 3,5 ka cal AP, marcado pelo retorno de águas frias e produtivas e alta similaridade com a ressurgência Ekman na plataforma média. Esse evento foi mais brando na plataforma externa onde a estratificação da água foi fortemente evidenciada e águas mais frias apenas entre 4,0 e 3,5 ka cal AP. Esse período foi marcado também por uma mudança no clima que se tornou mais úmido, influenciando a parte costeira do SRCF em 5,0 ka cal AP e a parte distal em 4,0 ka cal AP. O segundo máximo de contribuição da AT e AC entre 3,5 e 2,5 ka cal AP onde a contribuição de águas quentes e oligotróficas abrangeu tanto a superfície quanto a subsuperfície em todo o SRCF, apontando para um enfraquecimento da ressurgência;
- Holoceno superior (2,5 ka cal AP e hoje) - o segundo máximo da ACAS que compreende os últimos 2,5 ka cal marcado pelo retorno de águas frias e produtivas associadas à ressurgência Ekman, com uma intensidade maior na plataforma média do que na plataforma externa que ainda recebe maior contribuição das águas da Corrente do Brasil.

O detalhamento destas fases bem como a correlação entre diferentes paleoproxies permitirão a adequação destes cenários bem como a concepção de um modelo sedimentar e geoquímico para o Holoceno, trabalho este que será iniciado na Etapa EO011 do Projeto Ressurgência Fase II.

Continuidade do projeto e perspectivas futuras

As atividades descritas neste relatório estão todas em andamento, e de acordo com o cronograma estabelecido e controlado no RAG. O uso da metodologia de gerenciamento de projetos na administração das atividades científicas tem permitido um melhor controle de produção, concentrando esforços para responder perguntas

científicas relevantes para a região de estudo, bem como garantir a excelência na qualidade dos produtos científicos e técnicos do projeto.

Referências

- Albuquerque, A.L.S.; Belém A.L.; Portilho, R.; Mendoza, U.; Barbosa, C.F.; Santos, H.; 2013. Projeto Ressurgência - Processos geoquímicos e oceanográficos no limite entre Bacias de Campos e Santos: passado e presente.. Boletim da Petrobras.
- 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.
- 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.
- 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).
- Huyer, A., 1983. Coastal upwelling in the California Current System, *Prog. Oceanogr.*, 12, 259–284.
- Kucera, M. 2007. Planktonic foraminifera as tracers of past oceanic environments. In: *Marcel-Hillarie, C. e Vernal, A. (Eds), 2003, Proxies in Late Cenozoic Paleooceanography*. Elsevier, 843 p.
- 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.
- Mulitza, S., Boltovskoy, D., Donner, B., Meggers, H., Paul, A., Wefer, G. 2003. Temperature- $\delta^{18}O$ relationships of planktic foraminifera collected from surface waters. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, vol.202, pp. 143-152.
- 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.
- 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
- Smith, N. P., 1983. Temporal and spatial characteristics of summer upwelling along Florida's Atlantic shelf, *J. Phys. Oceanogr.*, 13, 1709–1715.

