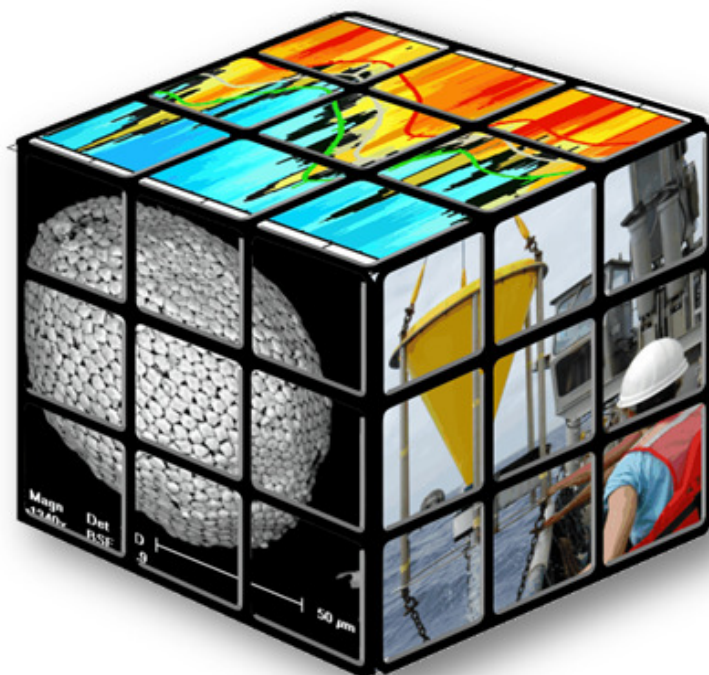




PROJETO RESSURGÊNCIA

Relatório Executivo Final



Niterói – RJ, Abril de 2013

Rede Temática
de Geoquímica

anp

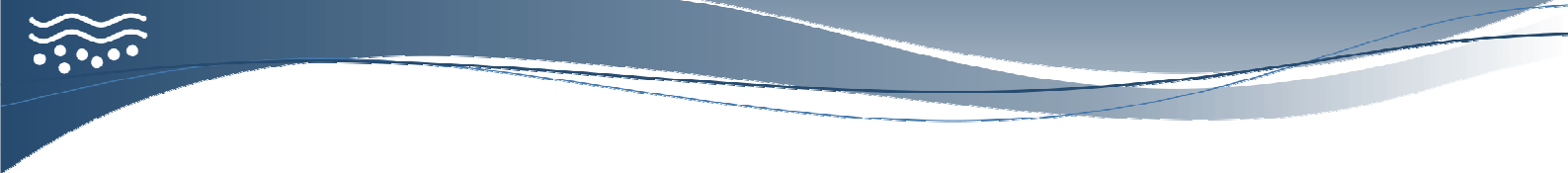
uff



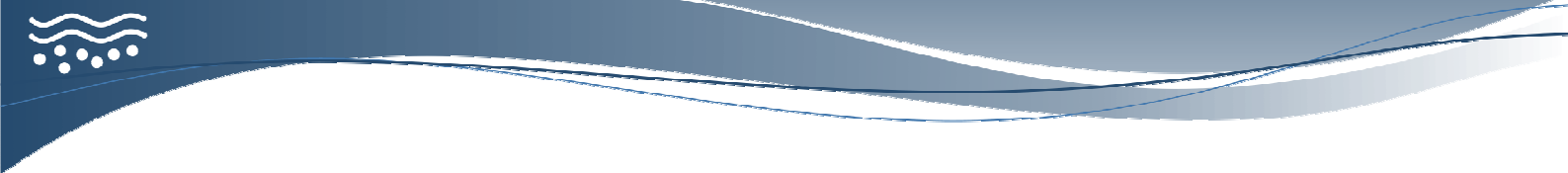
PETROBRAS

Conteúdo

Dados do Projeto.....	6
Equipe Executora	7
Motivação do Projeto.....	9
Referências centrais da motivação	13
Relatório Executivo	17
Atividade Proposta #01 Contato com pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM - Marinha do Brasil) e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos, visando à cooperação técnica-científica e apoio logístico para o acompanhamento dos experimentos em mar.....	17
Atividade Proposta #02 Levantamento bibliográfico, síntese e análise crítica.	17
Atividade Proposta #03 Implantação da logística laboratorial, e definição dos protocolos de coleta e pré-tratamento das amostras	18
Atividade Proposta #04 Aquisição dos equipamentos importados e nacionais para linha de fundeio, e contato com prestadores de serviço para adequação das necessidades do projeto.	19
Atividade proposta #05-1 Realização do levantamento sísmico, sonográfico e batimétrico na plataforma continental de Cabo Frio, como subsídio para obtenção de novos registros sedimentares.....	20
Atividade proposta #05-2 Coleta de testemunhos curtos (“box-cores”) e longos (‘Kullemberg’), que preservem o contato entre as interfaces água-sedimento e cubram o máximo do registro sedimentar depositado na plataforma continental.....	23
Atividade Proposta #06: Avaliação aprofundada da geometria dos depósitos sedimentares em base aos resultados do levantamento sísmico, sonográfico e batimétrico.....	28
Atividade Proposta #07: Abertura de testemunhos (“kullenbergs” e “box-cores”) a bordo, em atmosfera inerte (nitrogênio) com auxílio de “glove-box”, como também separação da água intersticial utilizando rizomas porosos e fixação das amostras de sedimento e água intersticial para a análise da especiação do enxofre (S total, S orgânico, DOP, AVS, CRS, $\delta^{34}\text{S}$, H_2S , MEV/EDS).....	32
Atividade Proposta #08: Abertura de “Box-cores” em intervalos a cada 0,5 cm em laboratório.....	36
Atividade Proposta #09: Tramitação de documentação na Direção de Hidrografia e Navegação da Marinha, de acordo com a Portaria N° 121/MB de 23/04/2003, referente a fixação do fundeio e levantamento hidrográfico (LH) para fins de pesquisa e investigação científica.	36
Atividade Proposta #10: Solicitação do serviço “Silent PTT Monitoring” e número de registro (ID) na ARGOS/CLS para o monitoramento contínuo via satélite da localização geográfica do fundeio sub-superficial.....	36

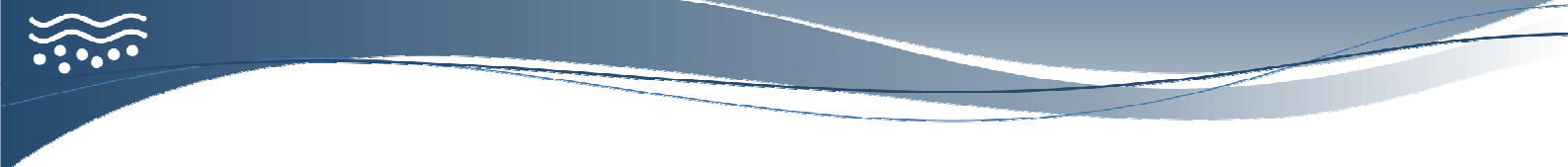


Atividade Proposta #11: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa, visando ajustes e re-planejamento de atividades.....	37
Atividade Proposta #12: Contato com pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM-Marinha do Brasil) e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos, visando á cooperação técnica-científica e apoio logístico para o acompanhamento dos experimentos em mar.....	37
Atividade Proposta #13: Levantamento bibliográfico, síntese e análise crítica de dados.....	37
Atividade Proposta #14: Análises físicas dos testemunhos longos (“Kullenberg”) - (susceptibilidade magnética, gama, etc.).....	37
Atividade Proposta #15: Planejamento relativo à localização, profundidade de ancoragem e desenho do fundeio baseados em aspectos oceanográficos, científicos e técnicos, como também em informações do IEAPM-Marinha do Brasil e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos.	44
Atividade Proposta #16: Testes-piloto do funcionamento e programação dos sensores oceanográficos (corrente, temperatura, turbidez, clorofila) acoplados ao fundeio. Avaliação dos intervalos de amostragem das armadilhas de sedimentação e métodos de preservação de amostras.....	44
Atividade Proposta #17: Treinamento técnico da equipe de campo nas manobras de instalação e recuperação do fundeio e na manutenção dos equipamentos do fundeio.	45
Atividade Proposta #18: Instalação do fundeio.	45
Atividade Proposta #19: Implantação/otimização de técnicas de pré-tratamento de amostras oriundas da interface água-sedimento (“box-cores”).....	46
Atividade Proposta #20: Pré-tratamentos analíticos (descarbonatação e pesagem) necessários para as análises de geoquímica orgânica elementar (COT, NT), isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) e alquenonas na matéria orgânica dos sedimentos da interface água-sedimento (“Box-cores”).	46
Atividade Proposta # 21: Elaboração e registro dos protocolos analíticos.....	47
Atividade Proposta #22: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa, visando ajustes e re-planejamento de atividades.....	47
Atividade Proposta #23: Elaboração de relatório parcial integrado.....	47
Atividade Proposta #27: Datação das amostras de testemunhos curtos (“Box-cores”) e elaboração de modelo geocronológico.....	48
Atividade Proposta #28: Implementação das análises da especiação do enxofre (S total, S orgânico, DOP, AVS, CRS, $\delta^{34}\text{S}$, H_2S).	51
Atividade Proposta #29: Determinação da assembléia de foraminíferos planctônicos, geoquímica elementar (Mg/Ca, Sr/Ca) e isotópica ($\delta^{18}\text{O}$) nos carbonatos biogênicos das espécies G. bulloides e G.ruber em amostras de “Box-corers” e fundeio.....	52
Atividade Proposta #30: Análise de geoquímica isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ e δD) da água do mar.	54



Atividade Proposta #31: Análise de metais e granulometria em amostras de “Box-cores” e fundeio.	55
Atividade Proposta #32: Análise de geoquímica orgânica elementar (COT, NT), isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) e alquenonas na matéria orgânica dos sedimentos da interface água-sedimento (“Box-cores”)	58
Atividade Proposta #33: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa, visando ajustes e re-planejamento de atividades.....	60
Atividade Proposta #34: Contato com pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM-Marinha do Brasil) e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos, visando a cooperação técnica-científica e apoio logístico para o acompanhamento dos experimentos em mar.....	60
Atividade Proposta #35: Levantamento bibliográfico, síntese e análise crítica de dados.....	61
Atividade Proposta #36: Manobras periódicas de instalação/recuperação do fundeio, como também a manutenção de equipamentos eletrônicos (armadilhas de sedimentação, sensores) e componentes mecânicos da linha do fundeio	61
Atividade Proposta #37: Abertura e descrição dos testemunhos longos (“Kullenberg”)	63
Atividade Proposta #38: Datação de amostras dos testemunhos longos e elaboração de modelo geocronológico	64
Atividade Proposta #39: Análise da especiação do enxofre (S total, S orgânico, DOP, AVS, CRS, $\delta^{34}\text{S}$, H_2S) (“Box-cores”).....	65
Atividade Proposta #40: Determinação da assembléia de foraminíferos planctônicos, geoquímica elementar (Mg/Ca, Sr/Ca) e isotópica ($\delta^{18}\text{O}$) nos carbonatos biogênicos das espécies G. bulloides e G. ruber em amostras de “Kullenberg” e fundeio.....	67
Atividade Proposta #41: Análise de geoquímica isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ e δD) da água do mar.	70
Atividade Proposta #42: Análise de metais e granulometria em amostras de testemunhos longos (“Kullenberg”).	70
Atividade Proposta #43: Análise de geoquímica orgânica elementar (COT, NT), isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) dos sedimentos de testemunhos longos (“kullenberg”)	71
Atividade Proposta #44: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa, visando ajustes e re-planejamento de atividades.....	72
Atividade Proposta #45: Elaboração de relatório parcial integrado.....	72
Atividade Proposta #46: Contato com pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM-Marinha do Brasil) e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos, visando a cooperação técnica-científica e apoio logístico para o acompanhamento dos experimentos em mar.....	72
Atividade Proposta #47: Levantamento bibliográfico, síntese e análise crítica de dados.....	72

Atividade Proposta #48: Manobras finais de instalação/recuperação do fundeio, como também a manutenção de equipamentos eletrônicos (armadilhas de sedimentação, sensores) e componentes mecânicos da linha do fundeio.	72
Atividade Proposta #49: Finalização das análises de geoquímica inorgânica/isotópica (S total, S orgânico, DOP, AVS, CRS, $\delta^{34}\text{S}$, H_2S , metais, granulometria) e orgânica/isotópica (COT, NT, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, alquenonas) nos sedimentos de testemunhos longos ("Kullenberg").....	73
Atividade Proposta #50: Análise por microscopia eletrônica de varredura da morfologia da pirita (MEV/EDS) em amostras de sedimentos ("Box-cores" e "Kullenberg").....	74
Atividade Proposta #51: Análises estatísticas dos proxies geoquímicos e biológicos do fundeio para elaboração de curvas e modelos de calibração locais (Mg:Ca, Sr:Ca, $\delta^{18}\text{O}$).....	76
Atividade Proposta #52: Análise global dos padrões oceanográficos e dados geoquímicos das amostras de fundeio.	76
Atividade Proposta #53: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa, visando ajustes e re-planejamento de atividades.....	78
Atividade Proposta #54: Contato com pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM-Marinha do Brasil) e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos, visando á cooperação técnica-científica e apoio logístico para o acompanhamento dos experimentos em mar.....	78
Atividade Proposta #55: Avaliação integrada dos processos da interação oceano/atmosfera sobre os processos biogeoquímicos na coluna d'água ligados a produtividade primária e ao fluxo de partículas na região de Cabo Frio.....	78
Atividade Proposta #56: Modelagem dos processos de degradação quali-quantitativa da matéria orgânica na coluna d'água, bem como na interface água-sedimento.	80
Atividade Proposta #57: Caracterização das alquenonas acumuladas nos sedimentos da plataforma continental e sua relação com seus precursores (cocolitoforídeos) na coluna de água.	80
Atividade Proposta #58: Avaliar os processos de piritização e/ou vulcanização da matéria orgânica que ocorrem em função dos processos de sulfato-redução na interface água-sedimento e sua importância na preservação/acumulação de matéria orgânica.....	83
Atividade Proposta #59: Modelagem de processos de produção x degradação x acumulação da matéria orgânica na região durante o Holoceno.	87
Atividade Proposta #60: Interpretação paleoambiental da variabilidade da paleoressurgência em Cabo Frio e seu papel nos processos biogeoquímicos.....	88
Atividade Proposta #61: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa.	90
Atividade Proposta #62: Elaboração de relatório integrado final.....	90



Dados do Projeto

Termo de Cooperação: 0050.0048388.08.9

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

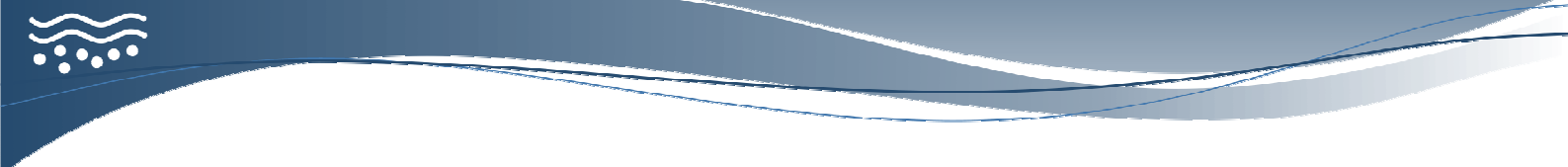
O Projeto Ressurgência tem contado com parcerias e colaborações científicas nacionais e internacionais de alto nível, as quais se refletem na produtividade científica do grupo. Estas parcerias científicas, aliadas ao caráter inovador das atividades realizadas no escopo do projeto, têm atraído um grande 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
Helenice R. Santos*	UFF	Geoquímica inorgânica	Pesq. Contratado
Juan Luoni*	UFF	Apoio administrativo	Contratado
Lívia G.M.S. Cordeiro	UFF	Geoquímica orgânica	Pesq. Contratada
Marcela S. Santos	UFF	Apoio administrativo	Contratada
Marcio H. Gurgel*	UFF	Geoquímica orgânica	Pesq. Contratado
Úrsula Maria Mendoza	UFF	Geoquímica inorgânica	Pesq. Contratada
Whertz Amoz Sales	UFF	Técnicas analíticas	Téc. Contratado
Wladimir Cardoso	UFF	Técnicas analíticas	Téc. Contratado
Abdelfettah Sifeddine	UFF/IRD-França	Geoquímica sedimentar	Colaborador
Alberto Figueiredo	UFF	Geofísica	Colaborador
Antonio E.G. Azevedo	UFBA	Física/Isótopos	Colaborador
Arthur Ayres	UFF	Geofísica	Colaborador
Bastiaan Knoppers	UFF	Oceanografia	Colaborador
Catia F Barbosa	UFF	Foraminíferos	Colaborador
Doriedson F. Gomes	UFBA	Fitoplâncton	Colaborador
Eliane Gonçalves	IEAPM/Marinha	Biogeoquímica marinha	Colaborador
Emmanoel Vieira Filho	UFF	ETRs e metais	Colaborador
Lucia Artusi	IEAPM/Marinha	Geofísica	Colaborador
Marcelo C Bernardes	UFF	Geoquímica Orgânica	Colaborador
Marcio H. Gurgel	UFF/USP	Geoquímica orgânica	Colaborador
Maria R. Zucchi	UFBA	Física/Isótopos	Colaborador
Renato C Cordeiro*	UFF	Sedimentologia	Colaborador
Ricardo E. Santelli*	UFF	Geoquímica analítica	Colaborador
Rogério Candella	IEAPM/Marinha	Oceanografia física	Colaborador
S. Patchneelam	UFF	²¹⁰ Pb e geoquímica	Colaborador
Wilson Machado	UFF	Biogeoquímica	Colaborador

(...continuação)

NOME	INSTITUIÇÃO	ESPECIALIDADE	FUNÇÃO
Bruno Turcq	IRD-França	Sedimentologia	Pesq. Associado
Caroline Slomp	Utrecht-Holanda	Modelagem diagenética	Colaborador
Ioanna Bouloubassi	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. Castelhão	Un. Georgia-EUA	Oceanografia física	Colaborador
NOME	INSTITUIÇÃO	ESPECIALIDADE	FUNÇÃO
Tatiana B. Mello	UFF	Geoquímica orgânica	Pós-doutoranda
*Regina de C.Oliveira	UFF	Geoquímica orgânica	Pós-doutoranda
*Rodrigo P. Ramos	UFF	Geoquímica foraminíferos	Pós-doutorando
Douglas V.O Lessa	UFF	Foraminíferos	Doutorando
Rut A. Diaz Ramos	UFF	Biogeoquímica enxofre	Doutoranda
*Luciano Rapagna	UFF	Diagênese recente	Doutorando
*Débora D. Souto	UFF	Geoquímica inorgânica	Doutoranda
*Anna Paula Soares	UFF	Oceanografia geológica	Mestre
*Francisco J. Zuluaga	UFF	Oceanografia	Mestre
*Nívea Santos Amorim	UFF	Geoq. água intersticial	Mestre
Manoel Moreira	UFF	Biogeoquímica metais	Mestrando
Manuel Botero	UFF	Oceanografia Biológica	Mestrando
Thiago Figueiredo	UFF	Geoquímica de metais	Mestrando
Clauzira M. Mendoça	UFF	Geofísica	Mestranda
Gabrielle Faria	UFF	Foraminíferos bentônicos	Mestranda
Igor Martins Oliveira	UFF	Foraminífero/Isotopia	Mestrando
Patrícia P. Borges	UFF	Oceanografia Biológica	Mestranda
*Aline Roberti da Silva	UFF	Foraminíferos	Mestranda
Vitor Pereira Gomes	UFF	Foraminíferos	Mestrando
Bernardo Rolim Rangel	UFRJ	Geoquímica orgânica	Bolsista grad.
Clarissa R. Santos	UFF	Oceanografia Física	Bolsista grad.
Pedro Rio	UFF	Oceanografia Química	Bolsista grad.
Pedro Paes Caldeira	UFRJ	Geocronologia isotópica	Bolsista grad.
*Lorena Alves Santos	UFRJ	Geoquímica do enxofre	Bolsista grad.
*Thiago P. dos Santos	UFF	Foraminíferos	Bolsista grad.
*Diogo M.F. de Freitas	UFRJ	Química geral	Bolsista grad.
*Walter R. Pazzolini	UFF	Geoquímica de metais	Bolsista grad.
*Ricardo S.D. Carneiro	UFRJ	Geoquímica inorgânica	Bolsista grad.
*Gustavo F. Barbosa	UFRJ	Geoquímica orgânica	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

*Atualmente desligados do projeto por conclusão de trabalho ou substituição.

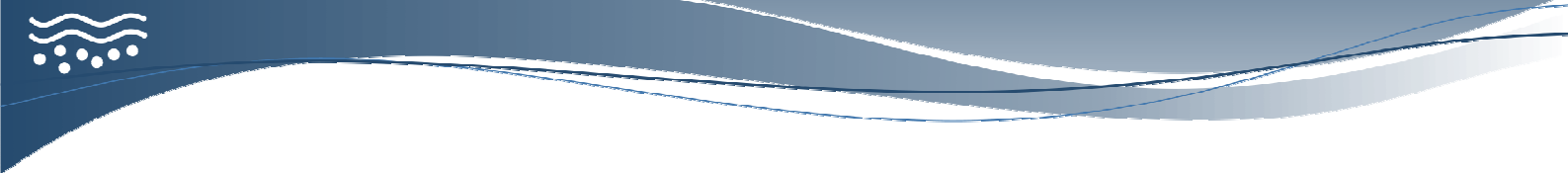


Motivação do Projeto

A plataforma continental caracteriza-se por ser um ambiente sedimentar complexo devido à interação entre o aporte fluvial e a produção marinha. Além desta complexidade de fontes, a dinâmica das massas d'água nesta região, a qual é essencialmente dependente do regime de ventos (Tessi et al, 2006) e da oceanografia regional (Belem et al, 2013) pode ser considerada como o principal fator controlador da produção, transferência, deposição e acumulação de matéria orgânica nestas zonas costeiras. Assim sendo, a natureza dos sedimentos depositados na plataforma continental é influenciada essencialmente pelo clima regional, o qual condiciona a intensidade e o tipo de intemperismo das rochas continentais e o transporte de sedimentos para a plataforma, como também os processos erosivos, o retrabalhamento e, até mesmo, a produtividade (no caso das ressurgências) na própria plataforma continental.

De uma forma geral, as correntes litorâneas que atuam sobre a plataforma espalham o material particulado, levando a maior parte para a plataforma média, onde acabam por se depositar. Apesar desta característica peculiar às plataformas continentais, Saavedra e Muehe (1994) apontaram a existência de depósitos de lama junto à costa na região de Cabo Frio, o qual foi considerado por estes autores uma situação particular desta região. Não obstante a este interesse geológico, a ocorrência do fenômeno de ressurgência na região de Cabo Frio vem chamando o interesse da comunidade científica desde a década de 70, sendo a região objeto de inúmeros estudos (Moreira, 1975; Valentin, 1980; Valetin et al., 1985; Gonzalez-Rodriguez et al., 1992; Rodrigues e Lorenzetti, 2001; Castelão e Barth, 2006; Pereira e Ebecken, 2009, dentre outros) que tratam sobretudo dos impactos da ressurgência sobre a produtividade local.

Desta forma, interessados nos mecanismos de ressurgência, que representam o mais dinâmico exemplo de interação atmosfera-oceano, o *Grupo de Estudos Paleoambientais* (atualmente *LOOP – Laboratório de Oceanografia Operacional e Paleoceanografia*) do Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense, retirou em 2002 dois testemunhos sedimentares na metade da plataforma continental de Cabo Frio, um pouco abaixo da linha dos 110 m. A análise destes sedimentos culminou em duas dissertações de mestrado e tres teses de doutorado que abordaram aspectos relativos à paleoressurgência (Silva, 2004; Andrade, 2008; Gurgel, 2008; Lessa, 2009; Souto 2009). Estes resultados mostraram a deposição de



conteúdos de carbono orgânico (COT) que atingiram até 2,5%, com fluxos de COT até 220 mg.cm2.dia-1 naquela região (Figura 1).

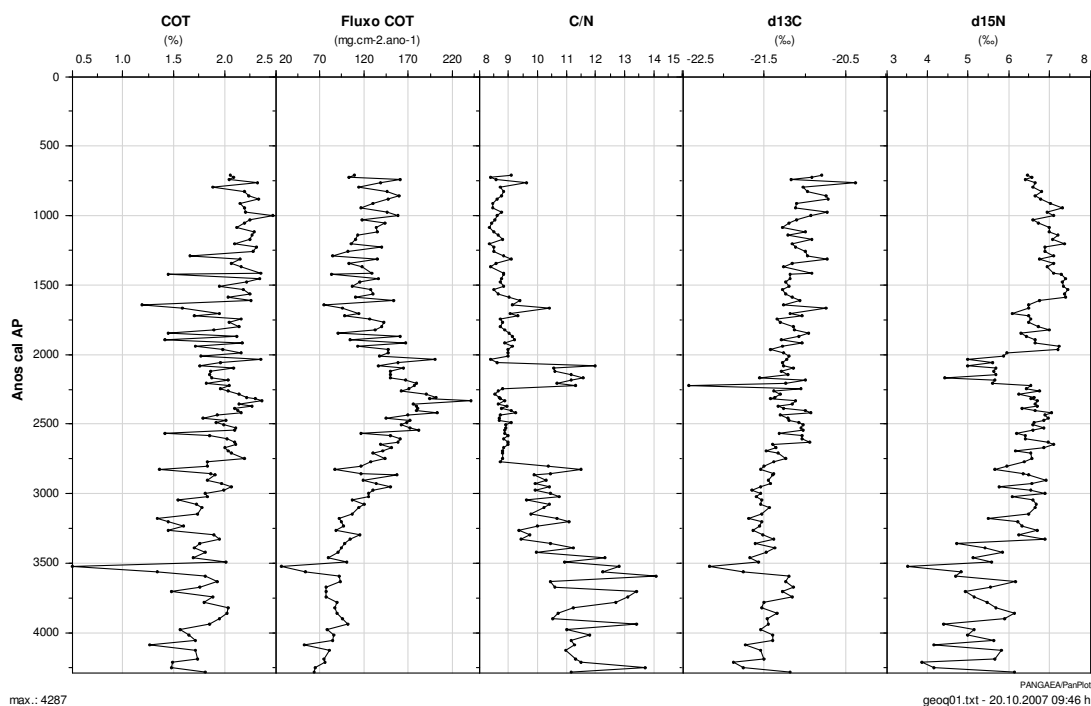
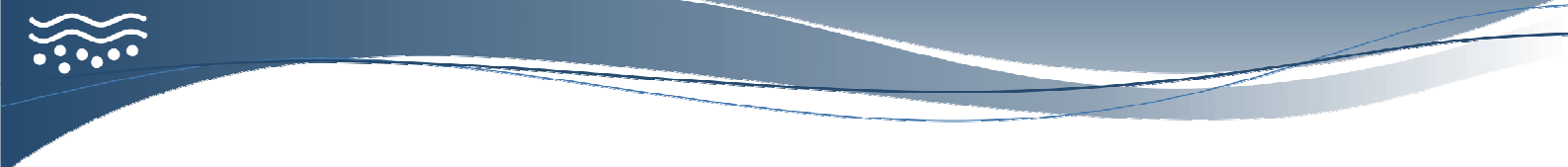


Figura 1 Distribuição temporal do conteúdo percentual de carbono orgânico total (COT), fluxos de Carbono Orgânico Total (mg.cm2.dia-1), razão C:N e os isótopos estáveis 13C e 15N na coluna sedimentar coletada na plataforma continental de Cabo Frio

Os valores de COT registrados em Cabo Frio, quando comparados com a deposição de matéria em outros ambientes costeiros do mundo demonstram a importância do estudo dos mecanismos de deposição e acumulação de matéria orgânica nesta região. Os ventos regionais, considerando suas componentes intensidade e direção, deslocam as águas superficiais quentes e oligotróficas da Água de Plataforma (uma mistura de água tropical carregada pela Corrente do Brasil e o aporte de água de origem continental e costeira), permitindo o afloramento das águas frias e ricas em nutrientes da massa d'água Central do Atlântico Sul (ACAS), o que caracteriza o fenômeno da ressurgência costeira que ocorre na região.

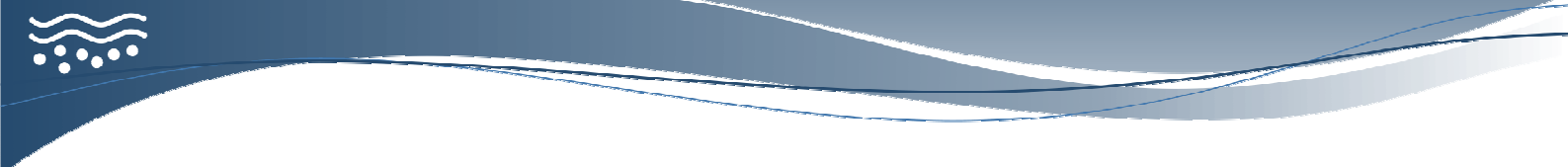
Apesar dos sistemas de ressurgência costeira mais produtivos do mundo se localizarem, em sua maioria, na margem leste dos oceanos, como é o caso da ressurgência do Peru (Nixon e Thomas, 2001), de Benguela (West et al., 2004) e da Califórnia (Aguilar-Islas e Bruland, 2006), as ressurgências ocorrem também nas margens oeste dos oceanos, como é o caso da ressurgência do Cabo Canaveral, EUA (Atkinson e Targett, 1983) e da costa do Brasil (Silva, 1965; Valentin et al., 1987; André et al., 1989; Pereira et al., 2009). Não obstante a menor magnitude destas



ressurgências de costa oeste, estas são fundamentais para a fertilização das águas costeiras destas regiões, a qual está diretamente associada ao controle da produção pesqueira (Matsura, 1996; 1998; Franchito et al., 1992), bem como a acumulação de matéria orgânica na plataforma continental.

Os sistemas de ressurgência costeira apresentam impactos consideráveis sobre os ciclos biogeoquímicos marinhos e atmosféricos. As altas taxas de produtividade biológica, observadas nas regiões de ressurgência, induzem um aumento no fluxo orgânico, o qual produz mudanças nas características da coluna d'água, bem como do fundo em contato com a região bentônica. Nestes ambientes, a concentração de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água ou nas camadas superficiais dos sedimentos pode sofrer um importante decréscimo interferindo, de forma fundamental, nos processos de degradação e acumulação de matéria orgânica. Neste sentido, em algumas regiões de ressurgência costeira, em especial naquelas que produzem um alto consumo de oxigênio na coluna d'água, caracterizando uma zona de mínimo oxigênio, chegam a acumular cerca de 10% de COT nos sedimentos (Libes, 1992; Hedges e Keil, 1995), no entanto o valor médio de acúmulo de carbono nos ambientes costeiros varia entre 0.2 e 0.4 % (Duan, 2000).

A preservação da matéria orgânica nos sedimentos marinhos é principalmente controlada pela quantidade de biomassa produzida na zona eufótica, bem como pelos processos de degradação que ocorrem tanto na zona eufótica da coluna d'água, quanto nos sedimentos (Murria e Kuivila, 1990; Lallier-Vergès et al., 1993, 1998; Bertrand et al., 1993; Tribovillard et al., 1994; Ransom et al., 1998; Ganeshram et al., 1999; Duan, 2000). As condições redox presentes nas regiões costeiras e que por fim regem os processos de degradação da matéria orgânica são condicionadas pelas características das massas d'água presentes e do consumo de oxigênio por atividades microbianas. Diversos trabalhos têm mostrado a existência de numerosos fatores que controlam a qualidade e a quantidade da matéria orgânica presente nos sedimentos, dentre eles podemos citar: a taxa de produtividade primária, taxas de sedimentação, concentração de oxigênio na interface sedimento-água, características das massas d'água e distância da costa (Hedges e Keil, 1995; Boussafir e Lallier-Verges, 1997; Lallier-Vergès et al., 1998; Vetö et al., 2000). Apesar de bem aceita a sinergia entre estes fatores, não existe um consenso acerca da definição dos mecanismos que controlam estes fatores. Neste sentido, autores como Reimers (1989) e Calvert e Pedersen (1993) atribuem às taxas de produtividade como o principal fator controlador da quantidade e da qualidade da matéria orgânica preservada nos sedimentos. Por outro lado, autores como Didyk et al. (1978), Hollander e Lo-Ten-

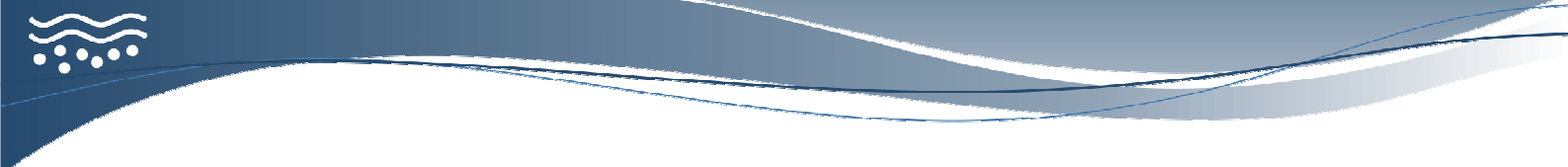


Haven (1992), Ingall et al. (1993), Jones e Manning (1994) e Schulte et al. (2000) atribuem à quantidade de oxigênio dissolvido esta responsabilidade.

Os sedimentos marinhos acumulados nas zonas de ressurgência costeira oferecem a oportunidade de estudo da evolução dos processos oceanográficos, tais como produtividade, balanço produção/degradação, temperatura da superfície do mar, dentre outros e de suas interações com sistemas atmosféricos e continentais, ao longo do tempo (Martinez et al., 2000; Bertrand et al. 2003). Assim, em condições ambientais bastante favoráveis, os sedimentos acumulados em regiões de ressurgência, podem registrar também a variabilidade das condições físico-químicas da coluna d'água em alta resolução temporal.

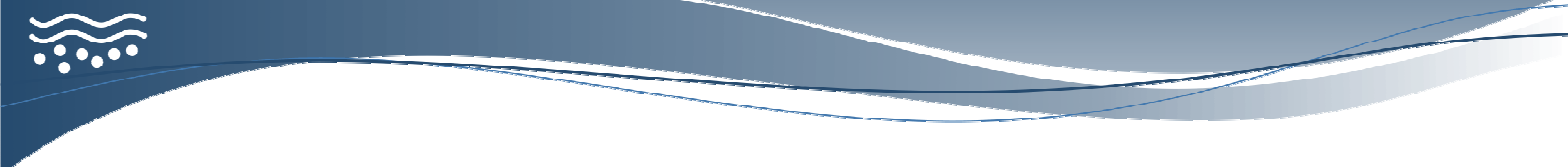
A extensão da costa brasileira entre Cabo Frio (23°S) e Cabo de Santa Marta (28°S) se caracteriza por apresentar uma circulação hidrográfica dinâmica e complexa devido à interação de diversos fatores, tais como: força dos ventos, circulação geostrófica e a variabilidade em meso-escala da Corrente do Brasil (Campos et al., 1995; Lima et al, 1996). Toda essa dinâmica oceanográfica resulta em uma forte componente cross-shelf, que, associada ao transporte de Ekman costeiro gerados por ventos, permitem a ocorrência da ressurgência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) sobre a plataforma continental (Belem et al, 2013). Desta forma, ao longo da costa brasileira, a região de Cabo Frio (Rio de Janeiro) se destaca como uma das regiões mais importantes e regulares de ressurgência da ACAS, com ocorrência mais intensa durante os meses de primavera-verão austral (Carbonel, 2003, Rodrigues e Lorenzzetti, 2001; Carvalho et al., 2004).

Com base no exposto, o Projeto Ressurgência propôs estudar os processos oceanográficos que levam a produção de matéria orgânica na plataforma costeira e principalmente entender os mecanismos que permitem e favorecem seu acúmulo e preservação na plataforma continental ao largo de Cabo Frio.

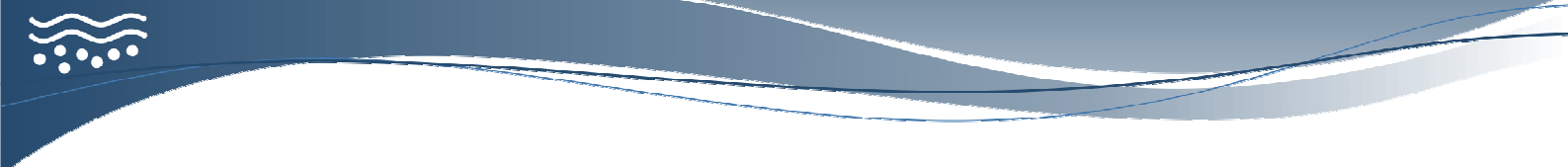


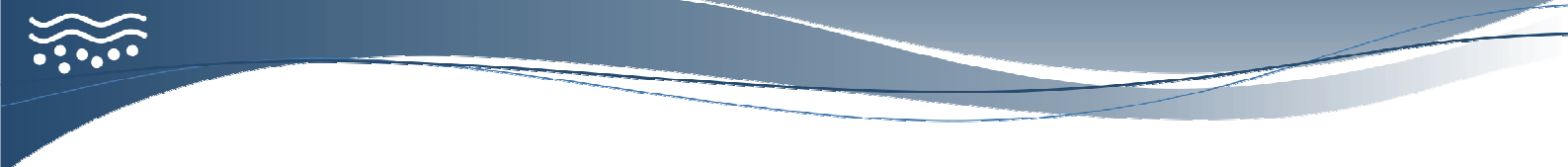
Referências centrais da motivação

- AGUILAR-ISLAS, A.M.; BRULAND, K.W. Dissolved manganese and silicic acid in the Columbia River plume: A major source to the California current and coastal waters off Washington and Oregon. *Marine Chemistry*, v. 101, n. 3-4, p. 233-247. 2006.
- ATKINSON, L.P.; TARGET, T.E. Upwelling along the 60-m isobath from Cape Canaveral to Cape Hatteras and its relationships to fish distribution. *Deep-Sea Research*, v.30, p. 221-226, 1983.
- ANDRADE, M. M. Paleoprodutividade da região de Cabo Frio, Rio de Janeiro, ao longo dos últimos 13.000 anos cal AP. Niteroi. 275 f. Tese (Doutorado em Geociências - Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense. 2008.
- ANDRE, D. L.; JACOB, S. A.; VALENTIN, J. L. Características hidrológicas da região costeira entre Cabo Frio e Rio de Janeiro. *Publicações do Instituto de Pesquisas da Marinha*. Rio de Janeiro, v.216, n.5, p.1-18, 1989.
- BELEM, A.; CASTELAO, R.M; ALBUQUERQUE, A.L.S. Control of subsurface temperature variability in a western boundary upwelling system. *Geophysical Research Letter*. 2013. No prelo.
- BERTRAND, P. H.; BORDENAVE, M.L.; BROSE, E.; ESPITALIÉ, J.; HOUZAY, J.P.; PRADIER, B.; VANDENBROUCKE, M.; WALGENWITZ, F. Other methods and tools for rock appraisal. In: Bordenave, M.L. (Ed.). *Applied Geochemistry*, Ed. Technip, Paris, Chapter II. p. 279-371. 1993;
- BERTRAND, P., PEDERSEN, T., SCHNEIDER, SHIMMIELD, G., LALLIERVERGES, E., DISNAR, J. R., MASSIAS, VILLANUEVA, TRIBOVILLARD, N. P., HUC Y., GIRAUD, P. C., VENNEC-PERRET, M. N. Organic-rich sediments in ventilated deep-sea environments, climate, sea-level and trophic changes. *Journal of Geophysical Research*, v.108, p.3045, 2003
- BOUSSAFIR, M.; LALLIERVERGES, E. Accumulation of organic-matter in the Kimmeridge Clay Formation (KCF)- An update fossilization model for marine petroleum source-rocks. *Marine and Petroleum Geology*. V. 14. n. 1, p. 75-83. 1997.
- CAMPOS, EJD, GONÇALVES, JE & IKEDA Y. Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight - Summer of 1991. *J. Geophys. Res.*, 100(C9): 18537-18550. 1995.
- CARBONEL, A.A.H. Modelling of upwelling-downwelling cycles caused by variable wind in a very sensitive coastal system. *Continental Shelf Research*. V. 23, p. 1559-1578. 2003
- CALVERT,SE.; T.F PEDERSEN. Geochemistry of Recent oxic and anoxic marine sediments: Implications for the geological record. *Marine Geology*, v. 113, n. 1-2, p. 67-88. 1993
- CARVALHO, I. S. *Paleontologia*. 2ª Edição, Rio de Janeiro, Interciência, 861p. 2004.

- 
- CASTELAO, RM; BARTH, J. Upwelling around Cabo Frio, Brazil: The importance of wind stress Curl. *Geophysical Research Letters*. v. 33, Art No. L03602. 2006.
- DIDYK, B.; SIMONEIT, R. R.; BRASSEL, S. C.; EGLINTON, G. Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, v. 272, p 216-222, 1978.
- DUAN, Y. Organic geochemistry of recent marine sediments from the Nansha Sea, China. *Organic Geochemistry*, v.31, p.159-167, 2000.
- FRANCHITO, S. H.; MO, V. B. Climatic change due to land surface alterations. *Climatology Change*, v. 22, p.1-34, 1992.
- GANESHRAM, R. G.; CALVERT, S. E.; PEDERSEN, T. F.; COWIE, G. L. Factors controlling the burial of organic carbon in laminated and bioturbated sediments off NW Mexico: Implications for hydrocarbon preservation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.63, p.1723-1734, 1999.
- GONZALEZ-RODRIGUEZ, E; VALENTIN, JL; ANDRE, DL; JACOB, AS. Upwelling and Dowelling at Cabo Frio (Brazil) – Comparson of Biomass and Primary Production Responses. *Journal of Plankton Research* 14: 1992.
- GURGEL, M. La sédimentation organique associée à deux systèmes d'upwelling en Amérique du Sud tropicale: implications paléooocéanographiques et paléoclimatiques au tours de l'Holocène. Tese Doutorado. Universidade Orleans. França. 329 pp, 2008.
- HEDGES, J. I.; KEIL, R. G. Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Marine Chemistry*, v.49, p.81-115, 1995.
- HOLLANDER, D. J.; LO-TEN-HAVEN, H. A 200 year sedimentary record of progressive eutrophication in Lake Greifen (Switzerland): Implications for the origin of organic-carbonrich sediments. *Geology*, v. 20, p. 825–828. 1992.
- INGALL, E. D.; R.M. BUSTIN; VAN CAPPELLEN, P. Influence of water column anoxia on the burial and preservation of carbon and phosphorus in marine shales. *Geochimica et Cosmochimica. Acta*, v. 57, n. 2, p. 303-316. 1993.
- LALLIER-VERGÈS, E.; P. BERTRAND; A. DESPRAIRIES. Organic matter composition and sulfate reduction intensity in Oman Margin sediments. *Marine Geology*, v. 112, n. 1-4, p. 57-69. 1993.
- LALLIER-VERGES, E.; BENOIT, P. PERRUSSEL, JEAN-ROBERT DISNAR, FREDERIC BALTZER. Relationships between environmental conditions and the diagenetic evolution of organic matter derived from higher plants in a modern mangrove swamp system (Guadeloupe, French West Indies). *Organic Geochemistry*, v. 29, n. 5-7, p. 1663-1686. 1998.
- LESSA, D.V.de O. Variabilidade da ressurgência na região de cabo Frio (RJ) durante os últimos 1000 anos com base na associação de foraminíferos planctônicos. Niterói. 134f. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense. 2009.
- LIBES, S.M., An Introduction to Marine Biogeochemistry. , *John Wiley and Sons*, New York. 1992.

- 
- LIMA, D.A, GARCIA C. A. E., MOLLER, O.O Ocean surface processes on the southern Brazilian shelf: characterization and seasonal variability. *Continental Shelf Research*, v.16,n.10,pp. 1307-1317, 1996.
- MARTINEZ, P., BERTRAND, P., CALVERT, S. E., PEDERSEN, T. F., SHIMMIELD, G. B., LALLIER-VERGES, E., FONTUGNE, M. Spatial variations in nutrient utilization, production and diagenesis in the sediments of a coastal upwelling regime (NW Africa): Implications for the paleoceanographic record. *Journal of Marine Research*, v.58, p.809-835, 2000.
- MATSUURA, Y.A. Probable cause of recruitment failure of the Brazilian sardine *Sardinella aurita* population during 1974/75 spawning season. *South African Journal of Marine Sciences*, v.17, p.29– 35, 1996.
- MOREIRA, LBR. Foraminifers from recent sediments of continental plateau, state of Rio de Janeiro (Enseada dos Anjos and environs, Cabo-Frio), *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 47 (3-4);1975
- MURRIA, J.; KUIVILA, K.. Organic matter diagenesis in the northeast Pacific, transition from aerobic red clay to suboxic hemipelagic sediments. *Deep-Sea Research*. v. 37, n. 1, p. 59–80. 1990.
- NIXON, S.; THOMAS A. On the size of the Peru upwelling ecosystem *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 48,n. 11, p. 2521-2528. 2001.
- PEREIRA, GC; EBECKEN, NFF. Knowledge discovering for coastal waters classification. *Expert System with Applications*, v. 36: 2009.
- RANSOM, B.; KIM, D. Organic matter preservation on continental slopes: Importance of mineralogy and surface area. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 62, n. 8, p. 1329-1345. 1998.
- REIMERS, C. E. Control of benthic fluxes by particulate supply, in Berger, W. H., Smetacek, V. S., and Wefer, G., (Eds.), *Productivity of the Ocean: Present and Past*: New York, John Wiley Sons, p. 217–233. 1989.
- RODRIGUEZ,RR; LORENZZETTI, JA. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. *Continental Shelf Research* 21: 2001.
- SAAVEDRA LBF & MUEHE D.. Dinâmica sedimentar da plataforma continental interna entre a Ilha de Cabo Frio e o Cabo Búzios, RJ. In: Congresso Brasileiro de Geologia - Anais do 36º Congresso Brasileiro de Geologia, 1: 370-371.1994.
- SILVA, A.C.C. Paleoceanografia da região de Cabo Frio – RJ: variabilidade da ressurgência com base na associação de foraminíferos planctônicos. Niterói. 95f. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense. 2004.
- SILVA, P. de C.M. Problemas da circulação oceânica nas águas brasileiras. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v. 25, n. 2, p. 157-158. 1965.

- 
- SOUTO, D. D. *Sedimentação organo-mineral na plataforma de Cabo Frio, Rio de Janeiro, e sua variabilidade ao longo dos últimos 1000 anos cal AP*. Niterói,. 113f. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense. 2009.
- TESSI, T., MISEROCCHI, S., LANGONE, L., BONI8, L., GUERRINI, F. Sources, fate and distribution of distribution of organic matter on the western continental shelf, Italy. *Water, Air and Soil Pollution* v. 6, p. 593-603. 2006.
- TRIBOVILLARD, N.; DESPRAIRIES, A.; LALLIER-VERGÈS, E.; MOUREAU, N.; RAMDANI, A.; RAMANAMPISOA, L. Geochemical study of organic-rich cycles from the Kimmeridge Clay Formation of Yorkshire (G.B.): productivity vs. anoxia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 108, p. 165-181. 1994.
- Pedersen, T.F., Calvert, S.E. Anoxia versus productivity: what control the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rocks? Replay. *Bulletin American Association of Petroleum Geology*. v. 75, p. 500-501. 1990.
- JONES B.; MANNING D. A. C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. *Chemical Geology* , v. 111, n. 1-4, p. 111-129. 1994.
- VALENTIN,J. Ecosystem of upwelling at Cabo Frio – Principal component analysis of plankotinic data from an anchored station. *Oceanologica Acta*3 1980.
- VALENTIN, J. L.; SILVA, N. M.; BASTOS, C. T. B. Les diatomees dans l'upwelling de Cabo Frio (Bresil): liste d'especies et etude ecologique. *Journal of Plâncton Research* ,v.7, n.3, p.313-337, 1985.
- VALENTIN JR, ANDRE D.L, JACOB S.A.. Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling two-dimensional structure and variability during a winde cycle. *Continental Shelf Research*, v.7(1): pp. 77-88, 1987.
- VETÖ, I. , M. HETÉNYI, M. HÁMOR-VIDÓ, H. HUFNAGEL, J. HAAS. Anaerobic degradation of organic matter controlled by productivity variation in a restricted Late Triassic basin. *Organic Geochemistry*, v.31, n. 5, p.439-452. 2000.
- WEST, J. H. F.; JANSEN J. -B. STUUT. Surface water conditions in the Northern Benguela Region (SE Atlantic) during the last 450 ky reconstructed from assemblages of planktonic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, v. 51, n.3-4, p. 321-344. 2004.



Relatório Executivo

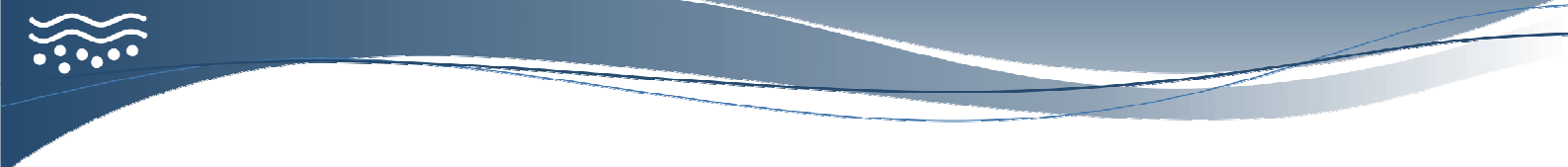
O relatório executivo tem como objetivo apresentar e comentar a execução das atividades de pesquisa propostas no Termo de Cooperação assinado entre as partes (Petrobras-UFF-FEC). Para detalhamento das técnicas e métodos utilizados em cada atividade estarão sendo mencionados seus respectivos Protocolos Analíticos. Para acesso a integralidade dos dados gerados no projeto, para cada atividade que tenha gerado dados, os mesmos estarão citados e referenciados no Banco de Dados ("**Banco de Dados do Projeto Ressurgência - BDPR**"). Por fim, uma discussão científica mais aprofundada de cada atividade proposta, estará sendo apresentada na forma de referência aos Produtos Científicos, que representam as monografias de graduação, dissertações de mestrado, teses de doutorado, resumos de congressos, artigos científicos produzidos com os dados gerados pelo projeto

Atividade Proposta #01 Contato com pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM - Marinha do Brasil) e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos, visando à cooperação técnica-científica e apoio logístico para o acompanhamento dos experimentos em mar.

Durante toda execução do projeto, diversos pesquisadores mantiveram constante contato com pesquisadores do Instituto Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM/Marinha do Brasil. Estes contatos se refletiram no contrato de uso das embarcações da Marinha do Brasil para realização das coletas de box-cores (Av.Pq.Oc. Diadorim) e manobras de instalação e recuperação do fundeio oceanográfico (inicialmente com o Av.Pq.Oc. Aspirante Moura, e no término do projeto com a Lancha Balizadora Tubarão e o NHO Amorim do Valle, do Grupamento de Navios Hidroceanográficos da Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN).

Atividade Proposta #02 Levantamento bibliográfico, síntese e análise crítica.

Apesar da relativa falta de conhecimento a respeito dos processos sedimentares na região costeira ao largo de Cabo Frio, esta região é uma das mais estudadas do Brasil no que concerne aos padrões da dinâmica da ressurgência, e seu impacto sobre os



organismos planctônicos e bentônicos. Neste sentido, este projeto investiu na criação de uma biblioteca com todos os artigos publicados sobre a região desde 1974. Esta revisão bibliográfica resultou na coleta de 665 publicações, relatórios científicos e teses de mestrado/doutorado. Este material de consulta tem sido largamente explorado tanto por alunos, quanto por pesquisadores colaboradores do projeto.

Além da biblioteca Ressurgência Cabo Frio, mencionada anteriormente, a coordenação do projeto incentivou a publicação de teses de mestrado e doutorados realizadas na região, como forma de consolidar o conhecimento adquirido. Como resultado, houve a defesa de 02 monografias de graduação, 08 dissertações de mestrado, 01 defesa de doutorado, como também a submissão de 77 resumos para congressos nacionais e internacionais, 04 artigos publicados, e 09 artigos submetidos e/ou em fase de revisão (ver em anexo os Produtos Científicos do Projeto Ressurgência).

Atividade Proposta #03 Implantação da logística laboratorial, e definição dos protocolos de coleta e pré-tratamento das amostras

A preparação da logística laboratorial para a condução deste projeto foi um dos maiores desafios encontrados pela coordenação. A atual infraestrutura oferecida pelo Instituto de Química da UFF é deficitária e houve a necessidade de realização de pequenas reformas para adequação do espaço laboratorial (Laboratório 414A). Neste sentido, as pequenas reformas tiveram como objetivo principal corrigir problemas de encanamento (vazamentos, falta de vazão para o destilador etc.), problemas elétricos (tensão insuficiente), falta de exaustão adequada na capela, como também realizar modificações no sentido de isolar uma pequena área para pesagem (balança analítica) e instalar chuveiro e lava-olhos (Foto 1).

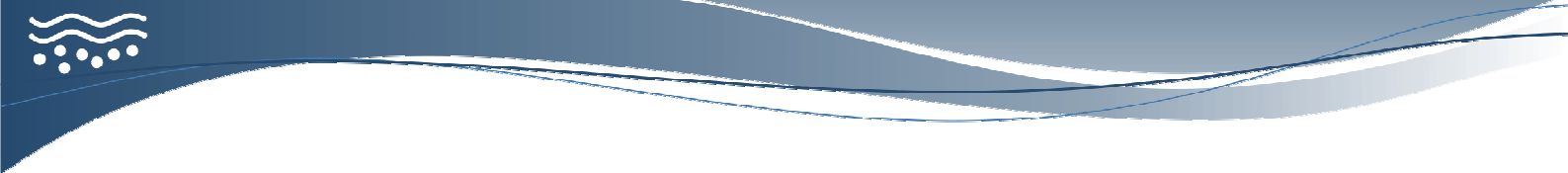


Foto 1 Imagens do Laboratório de Estudos Paleoambientais (414A). Foto A- Sala da balança analítica atualmente isolada por portas; Foto B- Chuveiro e lava-olhos; e Foto C- Nova capela com novo sistema de exaustão.

Atividade Proposta #04 Aquisição dos equipamentos importados e nacionais para linha de fundeio, e contato com prestadores de serviço para adequação das necessidades do projeto.

Esta atividade, ou seja, definição de um design para um fundeio oceanográfico que associe a obtenção de dados físicos e coleta de particulados para análises geoquímicas, em especial em ambiente de plataforma continental (baixas profundidades) é inédita para toda a margem leste do Atlântico Sul, e com raros estudos semelhantes em outros locais do planeta. Este caráter inédito e raro de fundeios oceanográficos de acoplamento físico-biogeoquímico em plataforma continental trouxe consigo, além de perspectivas científicas inovadoras e muitas informações, muitos desafios que foram superados e formaram expertise pioneira no Brasil.

A definição da configuração do fundeio oceanográfico e de toda a logística relativa a esta atividade foi norteadas pela busca de um padrão de confiabilidade e eficiência na obtenção de dados oceanográficos e geoquímicos, aliado a segurança dos equipamentos. Neste sentido, tendo em vista a inexistência de expertise prévia no Brasil, o Projeto Ressurgência buscou o intercâmbio com outros grupos de pesquisa do mundo que realizam trabalhos com fundeios para coleta de particulados através de visitas técnicas ao IOW – Alemanha; e da visita ao Brasil de um engenheiro do Instituto Mexicano de Petróleo (IMP) e do IMARPE/Peru. Estas visitas técnicas resultaram em discussões sobre o desenho do fundeio, visando melhorar a distribuição da flutuabilidade, o que se traduz na segurança individual dos diversos equipamentos.

Para acessar aos produtos científicos desta atividade:

Mendoza et al. Particle fluxes of the Cabo Frio upwelling system, Southeast Brazil: Part I - Model analysis for the design and deployment of eulerian sediment trap mooring array. Anais da Academia Brasileira de Ciência. Submetido.

Mendoza et al., 2010. Mooring line for sediment traps: study case of coastal upwelling of Cabo Frio, southeast Brazil. AGU Meeting of the Americas. Foz de Iguaçu, PR, Brasil. 8-13 Agosto.

Atividade proposta #05-1 Realização do levantamento sísmico, sonográfico e batimétrico na plataforma continental de Cabo Frio, como subsídio para obtenção de novos registros sedimentares.

O levantamento sísmico foi realizado tendo como base o mapa sedimentológico produzido por Gilberto Dias (2000) (Figura 2). Assim sendo, a intenção foi detalhar o substrato geológico no qual o depósito lamoso se estende na plataforma continental ao largo de Cabo Frio.

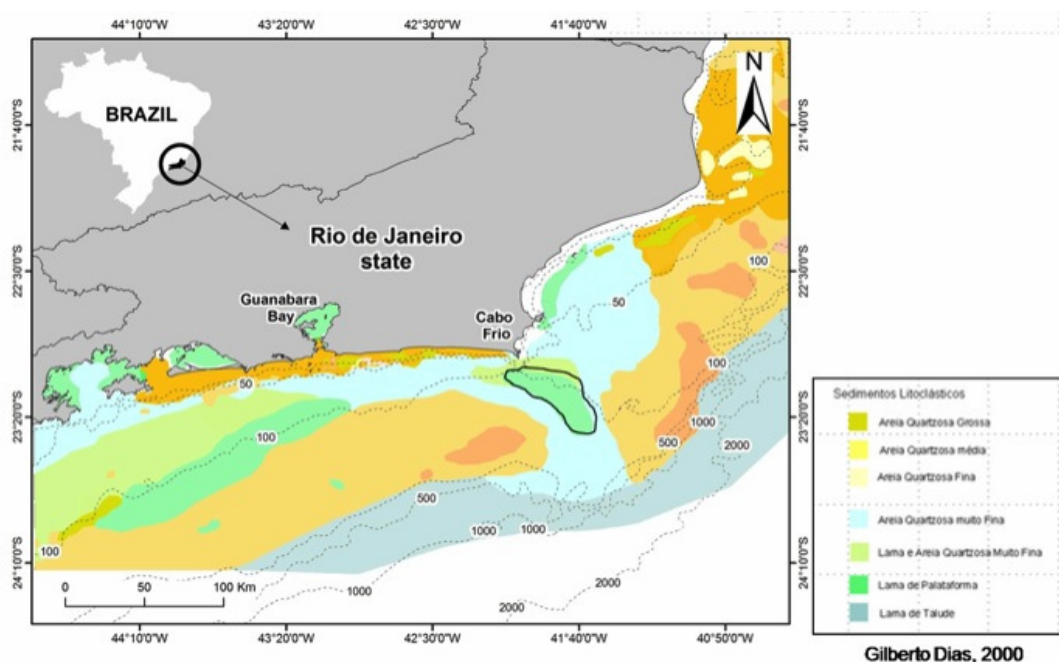


Figura 2 Mapa sedimentológico da plataforma continental na costa do Rio de Janeiro. A macha de cor verde delimitada pela linha preta indica a localização dos depósitos lamosos alvo deste projeto

Tendo como base a distribuição dos sedimentos superficiais finos (lama) foi feito um desenho amostral (esboço preliminar) da distribuição das linhas para o levantamento sísmico visando os cálculos de navegação para a maior cobertura possível do banco

lamoso (Figura 3). Para aquisição dos dados sísmicos de alta resolução, sonar de varredura lateral e batimetria multifeixe, foi executado um levantamento geofísico utilizando a embarcação Ocean Surveyor de propriedade da empresa C&C Technologies do Brasil. O levantamento foi executado no período de 22 de outubro a 1 de novembro de 2009. Em função da qualidade dos dados algumas linhas (16, 17, 18, 41 e 42) foram refeitas no período de 30 de abril e 1 de maio de 2010. Ao todo foram adquiridos 680.6 km de dados sísmicos, sonográficos e batimétricos, sendo 42 linhas espaçadas de 1500 m entre si e com comprimento variando entre 3 km e 20,85 km navegadas na direção NE-SW e duas linhas com comprimentos de 30,1 km e 35,5 km navegadas na direção SE-NW. Essa configuração não permitiu o recobrimento de 100% da área de estudo com dados de batimetria e sonar de varredura lateral (Figura 4).

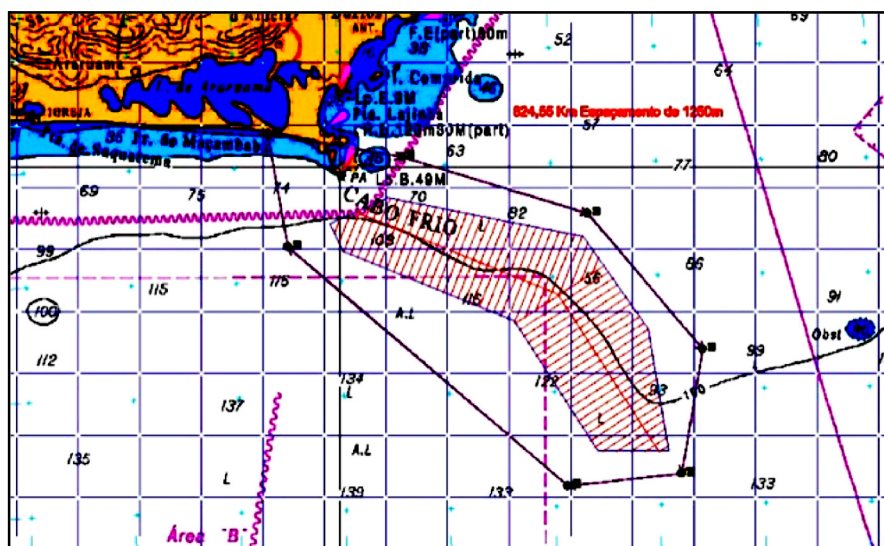


Figura 3 Esboço preliminar (fase de planejamento) das linhas de navegação para o levantamento sísmico na região.

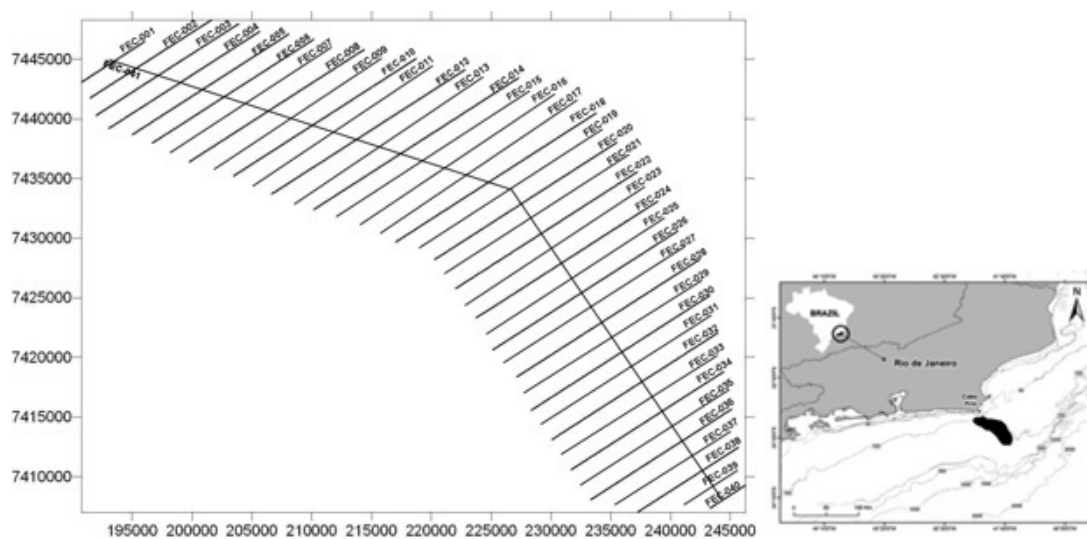
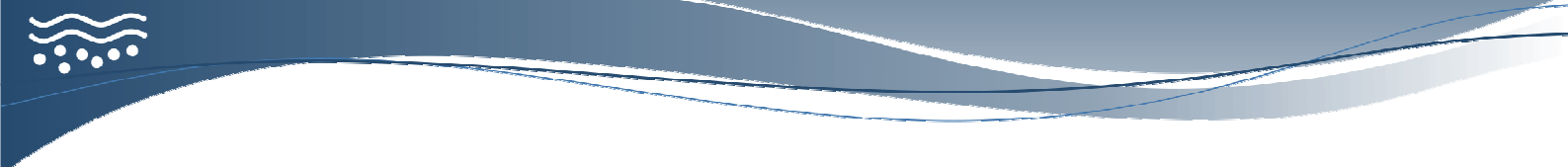


Figura 4 Mapa de posicionamento e orientação das linhas do levantamento geofísico (linhas executadas). A área destacada em preto no mapa menor representa a região do levantamento sísmico.



Todos os equipamentos geofísicos a bordo da embarcação de pesquisa foram posicionados com a utilização de sistema DGPS com correções diferenciais recebidas através de link via satélite pelo equipamento CNAV-2000, cuja precisão gira em torno de 1 metro. As coordenadas obtidas estão no sistema UTM (Zona 24S - Meridiano Central de 39° W) e referidas ao datum horizontal WGS84. O software utilizado para navegação e posicionamento da embarcação foi o HydroMap Multibeam Collection. Este software permite a exibição em tempo real da localização da embarcação em relação a obstáculos existentes na área e a integração com os sistemas de aquisição de dados geofísicos.

Para o levantamento batimétrico utilizou-se o ecobatímetro multifeixe Simrad EM3000 DUAL HEAD que opera com frequência de 300 kHz. O software utilizado para aquisição dos dados foi o HydroMap Multibeam Collection. Esta técnica permite fazer a varredura do fundo marinho com o alcance de 5,0 vezes a profundidade. O software HydroMap, desenvolvido pela C & C, foi usado para o processamento dos dados. O HydroMap opera em uma Estação de trabalho tipo SPARC que corre na plataforma de UNIX. O software é escrito no idioma C e usa o X-Windows. O software controla o hardware do Multibeam, coleta os dados e processa-os em tempo real. Os dados batimétricos foram reduzidos ao nível de redução da DHN a partir dos valores de previsão de marés para o Porto de Arraial do Cabo para o período do levantamento.

O levantamento com o sonar de varredura lateral objetivou avaliar a distribuição superficial de sedimentos. Durante o levantamento foi utilizado o Sistema de Sonar Klein Série 5000 com dupla frequência 100 / 500 kHz. Este sistema baseia-se na transmissão de um sinal acústico por um transdutor e sua reflexão pelo fundo marinho, retornando ao transdutor, onde é transformado em pulso elétrico. Os vários tons de cinza que se observam nos registros resultam da intensidade da reflexão do sinal. O software utilizado na aquisição dos dados digitais foi o Isis Sonar v.6.9. Os dados obtidos foram gravados em formato XTF para a geração posterior de mosaico sonográfico e elaboração dos mapas de feições geológicas.

A perfilagem sísmica com 3.5 kHz tem como objetivo conhecer a estrutura geológica da subsuperfície do fundo marinho, no que tange a identificação da espessura dos sedimentos, estratigrafia e interpretação das condições de corpos rochosos. Durante o levantamento foi utilizado o Sistema Geopulse Geoacoustics, modelo composto por duas unidades de transmissão e recepção. O software utilizado na aquisição dos dados foi o SonarWiz collection. O padrão do eco é resultado da interação entre o fundo oceânico e o pulso de energia da fonte. O retorno do sinal é afetado pelo

tipo de sedimento e suas camadas (coeficiente de reflexão, espessura das camadas, interferência entre as camadas, reflexões internas múltiplas etc) e pelas suas estruturas e topografias (difrações, extensão e variação lateral das camadas etc). Os dados obtidos foram gravados em formato SEGy para a geração posterior dos mapas de sub-superfície.

Para acessar as imagens representativas das principais feições sísmicas das 41 linhas realizadas:

acesse o banco de dados digitais pela mídia em anexo na pasta

- **[BDPR]/LevantamentoSismico**

Atividade proposta #05-2 Coleta de testemunhos curtos (“box-cores”) e longos (“Kullemborg”), que preservem o contato entre as interfaces água-sedimento e cubram o máximo do registro sedimentar depositado na plataforma continental.

Tendo como base os resultados do levantamento geofísico, cuja metodologia adotada foi descrita na Atividade #5-1, a escolha dos pontos de amostragem dos sedimentos (box-cores e kullenbergs) foi baseado nas seguintes premissas:

- *amostragem visando a recuperação de pacotes sedimentares completos, que inclua a base do depósito lamoso;*
- *amostragem de perfis com a máxima resolução temporal possível;*
- *amostragem visando a caracterização de feições paleoambientais;*
- *amostragem visando a caracterização de possíveis fontes deposicionais;*
- *amostragem visando a caracterização de ambientes deposicionais com diferentes taxas de sedimentação e condições biogeoquímicas; e*
- *viabilidade logística e analítica.*

Com base nas premissas que orientaram a escolha dos pontos de amostragem, as coletas foram coletadas através das seguintes técnicas:

- *coleta de testemunhos longos (tipo kullemborg) em 4 pontos (K1 a k4)*
- *coleta de perfis curtos (interface sedimento água) em 15 pontos (BC1 a BC15)*
- *coleta de amostras de van-veen na região dos prováveis beach-rocks (VV1 e VV2)*

Os pontos de coleta selecionados estão ilustrados na Figura 5. A coleta de sedimentos foi realizada entre os dias 26 a 30 de janeiro de 2010, a bordo da embarcação Ocean Surveyor da empresa C&C Technologies do Brasil (Foto 2), mesma que realizou o

levantamento geofísico. O navio estava equipado, além do sistema DGPS, que possibilitou uma maior precisão na localização dos pontos selecionados, de um coletor de testemunho tipo kullenberg (Foto 2A) com capacidade de recuperação máxima de 6 metros, um coletor de sedimentos do tipo box-core, de dimensões 50 X 50 X 50 cm (Foto 2B) e um coletor de sedimentos superficiais tipo-van veen.

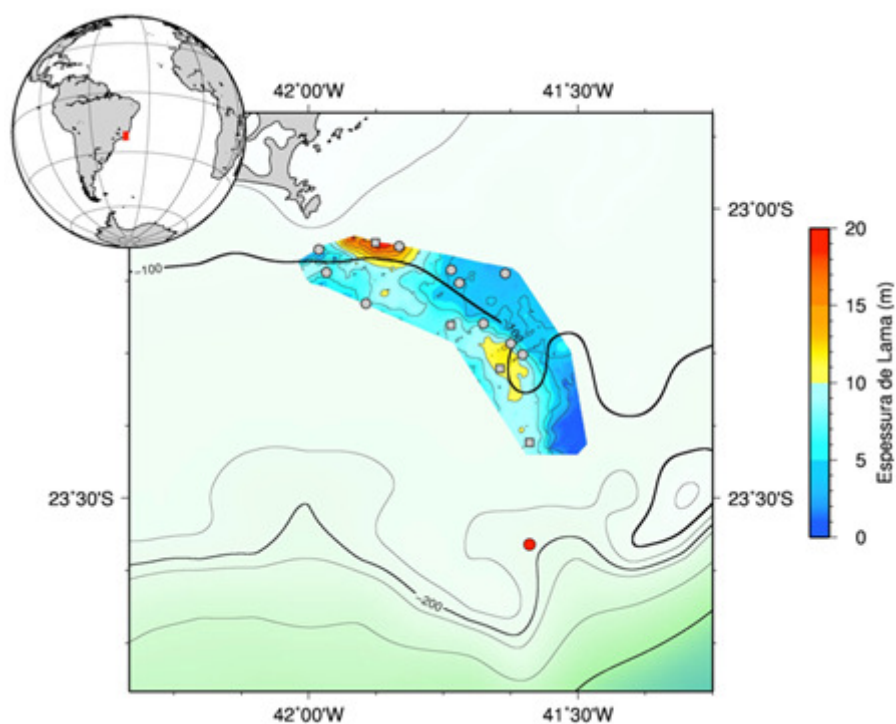
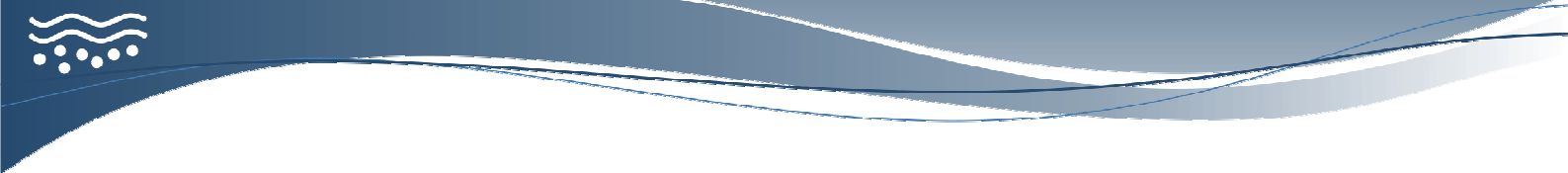


Figura 5 Distribuição dos pontos amostrais (P1 a P17) no banco lamoso estudado na plataforma continental de Cabo Frio. O gradiente de cores representa a espessura do banco de lama (discutido a seguir na descrição da Atividade #6). Os círculos cinza representam as posições de amostragem.



Foto 2 (esquerda) Navio Ocean Surveyor (indicado pela seta) sendo preparado para coleta em Cabo Frio e foto A (centro) - Coletor de sedimento tipo-kullenberg; B (direita) - tipo box-corer preparados para operação no Navio Ocean Surveyor.

Apesar das boas condições do tempo durante o período de coleta, sem registro e/ou previsão de entrada de frente-frias no Rio de Janeiro, verificado através do website do



INPE/CPTEC, as condições do mar foram bastante instáveis, com rajadas de ventos fortes e ondas que chegavam a 2,5 metros. Estas más condições do mar prevaleceram, em especial durante os 3 primeiros dias de operação. Visando a maior eficiência operacional de coleta, a derrota (rota de navegação) do navio foi estabelecida de forma a coletar os testemunhos kullenberg na primeira parte da operação, seguida pela coleta de box-cores e finalmente por coletas van-veen. Não obstante as más condições do mar, a equipe de bordo efetivou a recuperação de 12 (doze) testemunhos kullenberg, em 4 pontos de coleta, conforme mostrado na Figura 6 e descrito na Tabela 1.

Tabela 1 Testemunhos kullenberg coletados durante missão Ocean Surveyor (Janeiro 2010).

Testemunho Código	Latitude UTM	Longitude UTM	Recup. (m)	Coleta / Medições		OBS.
				Água intersticial	Geomicro- biologia	
CF10-15A	205255,82	7447117,53	4,20	Não	Não	
CF10-15B	205294,32	7447095,07	3,00	Sim	Não	
CF10-15C	205299,58	7447087,67	4,30	Não	Sim	Na UFRJ
CF10-09A	219931,60	7447087,67	4,30	Sim	Não	
CF10-09B	219925,81	7431564,49	4,50	Não	Não	
CF10-09C	219923,89	7431562,40	5,80	Não	Sim	Na UFRJ
CF10-01A	235294,90	7409395,08	abortado	Não	Não	deformado
CF10-01B	235291,78	7409395,02	3,80	Sim	Não	
CF10-01C	235301,72	7409393,63	3,70	Não	Sim	Na UFRJ
CF10-01D	235291,18	7409399,80	2,70	Não	Não	
CF10-04A	229440,63	7423414,16	4,20	Não	Não	
CF10-04B	229450,53	7423411,93	4,80	Não	Não	
CF10-04C	229444,79	7423409,96	4,20	Não	Sim	Na UFRJ

A coleta de box-cores não obteve sucesso nesta missão de coleta. Tendo sido realizadas inúmeras tentativas durante dois dias, sem sucesso de recuperação satisfatória. Neste sentido, os sedimentos recuperados nas diversas tentativas de coleta realizadas apresentaram evidentes sinais de “lavagem”, o que descaracteriza sua estrutura original, colocando em risco a qualidade dos resultados obtidos. A falta de sucesso da operação de coleta de box-cores foi atribuída a dois fatores principais:

- condições desfavoráveis de manobras, as quais produziam grandes deslocamento de deriva durante a operação; e*
- característica da embarcação que obrigava que a operação de coleta ocorresse na popa, que por sua vez impede que o motor fique ligado e evite os deslocamentos produzido pela deriva da embarcação.*

Tendo sido abortada a coleta de amostras de box-cores no navio Ocean Surveyor, a coordenação do projeto fez contato imediato com o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM/Marinha do Brasil) em Arraial do Cabo (RJ) para viabilizar o uso da embarcação Av.Pq.Oc. Diadorim para coleta de amostras de box-cores e van-veen. Esta segunda missão de coleta, agora exclusiva para coleta de box-cores ocorreu em abril de 2010 (Erro! Fonte de referência não encontrada.).



Foto 3 Embarcação Diadorim se preparando para coleta de sedimentos curtos (box-cores) na plataforma continental de Cabo Frio.

O navio estava equipado, além do sistema de registro de posicionamento DGPS, com um coletor de testemunho tipo box-corer (Foto 4) com capacidade de recuperação máxima de 30 x 30 x 30 cm e um coletor de sedimentos superficiais tipo van-veen. Os pontos amostrados estão demonstrados na Figura 6 e na Figura 7.



Foto 4 Coletor box-corer utilizado durante a coleta de sedimentos na plataforma continental de Cabo Frio.

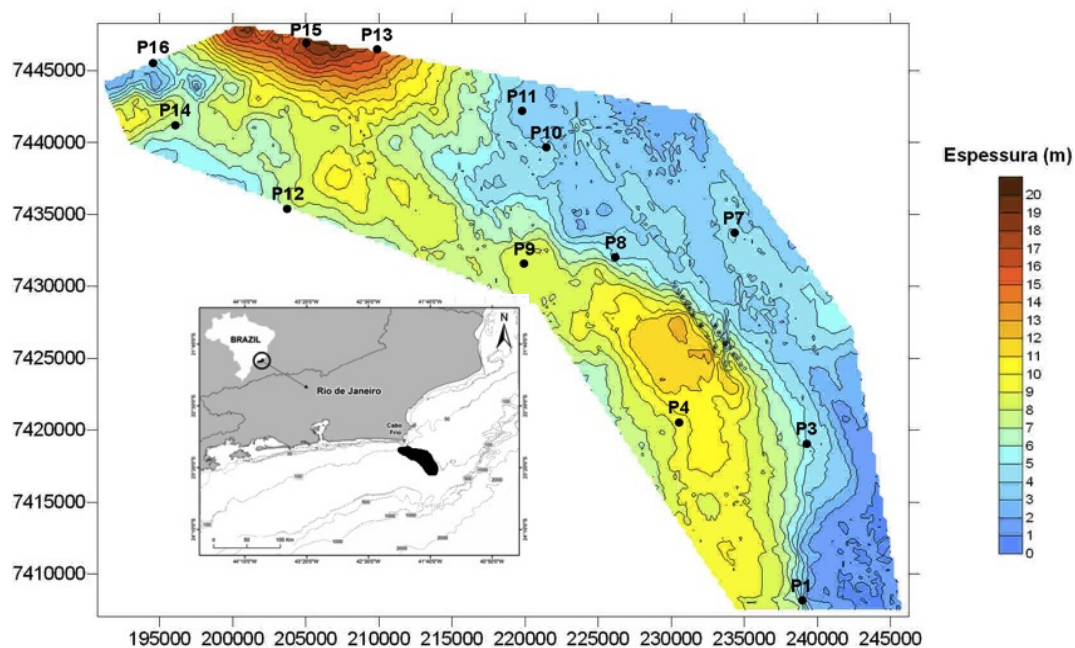
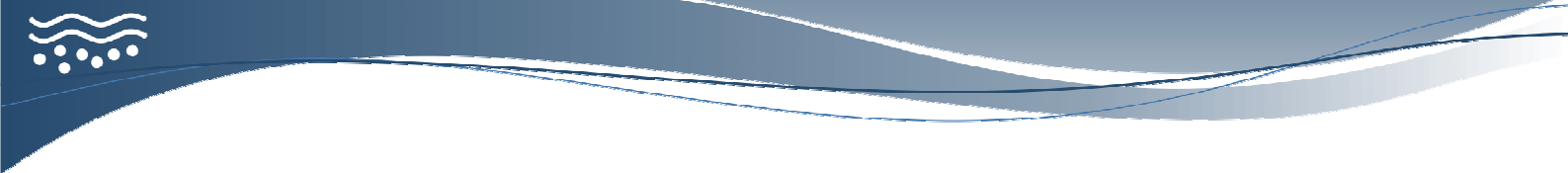


Figura 6 Localização dos pontos de amostragem de sedimentos com box-cores. A área destacada em negro no mapa menor representa a região do levantamento sísmico.

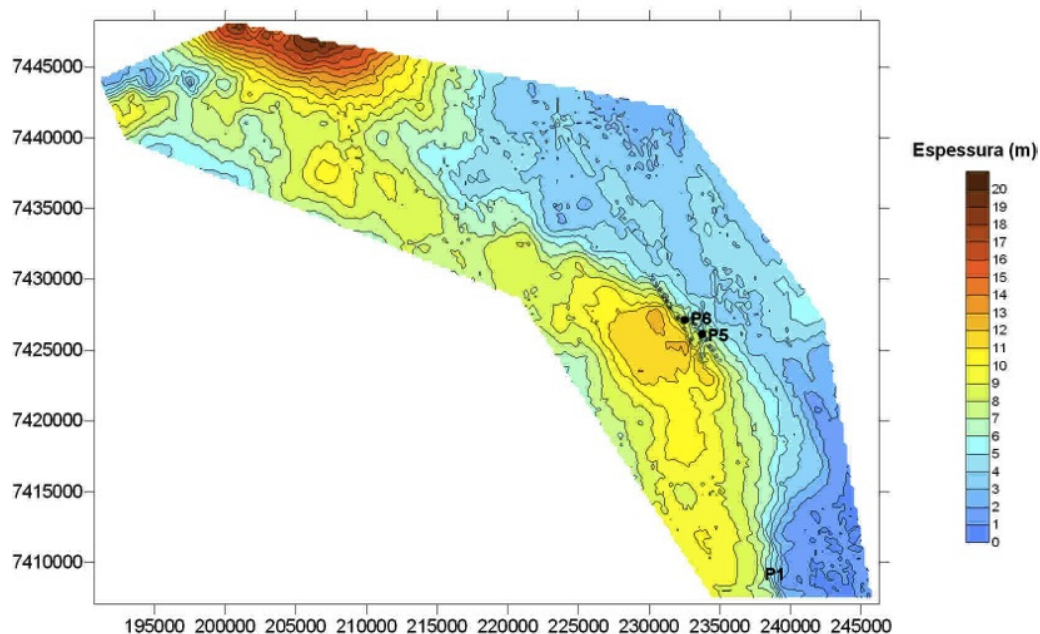
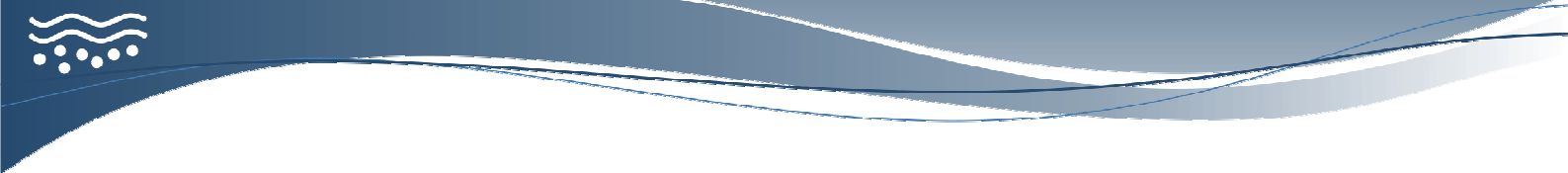


Figura 7 Localização da região identificada no levantamento sísmico como beach-rock e os pontos de amostragem com coletores van-veen. A área destacada em negro no mapa menor representa a região do levantamento sísmico.



Para acesso a lista com o posicionamento das estações de amostragem:

- acesse o banco de dados digitais pela mídia em anexo no arquivo
[BDPR]/PR_CoordenadasPontosColeta.xls

Atividade Proposta #06: Avaliação aprofundada da geometria dos depósitos sedimentares em base aos resultados do levantamento sísmico, sonográfico e batimétrico.

Os dados do levantamento geofísico descrito na atividade #5 foram utilizados para o desenvolvimento da dissertação de mestrado da aluna Clauzira Manoela de Mendonça Gomes (CPF 360.884.088-55) regularmente matriculada no Programa de Pós-graduação em Geofísica (LAGEMAR) da UFF, sob a orientação do Dr. Arthur Ayres (ver Produtos citados abaixo). A referida dissertação encontra-se em fase final de desenvolvimento e tem sua defesa prevista para agosto de 2013. No entanto, o texto abaixo sintetiza os principais resultados obtidos para esta atividade.

O fundo marinho da área de estudo apresenta uma morfologia plana-inclinada com profundidades variando entre 74m no extremo norte e 132 m na parte sul da área (Figura 8). Os gradientes observados são típicos de região de plataforma continental, com valores menores do $0,5^\circ$ no sentido SW. Os maiores valores são observados na porção norte da área (Figura 9).

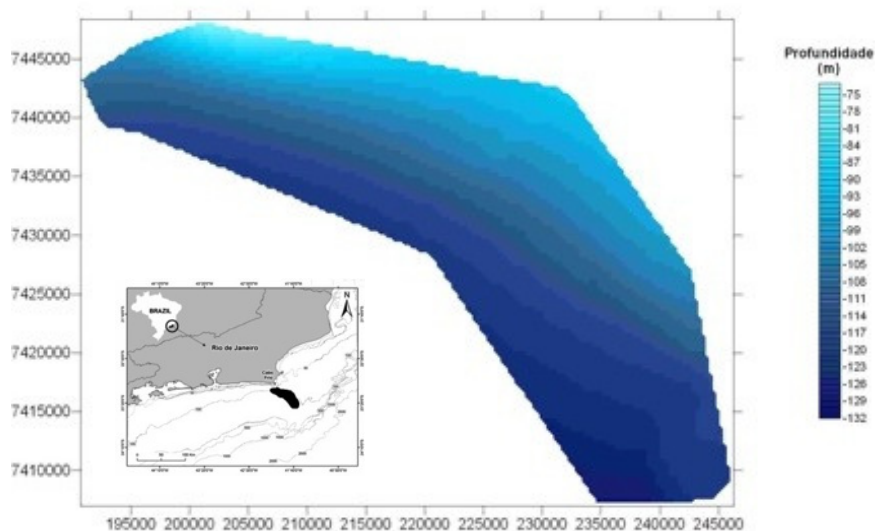


Figura 8 Mapa batimétrico da área de estudo. A área destacada em negro no mapa menor representa a região do levantamento sísmico.

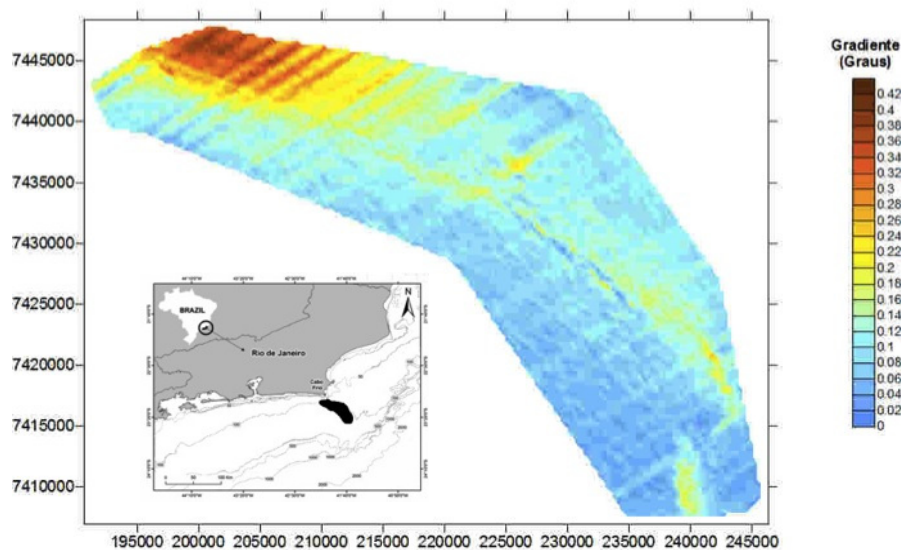
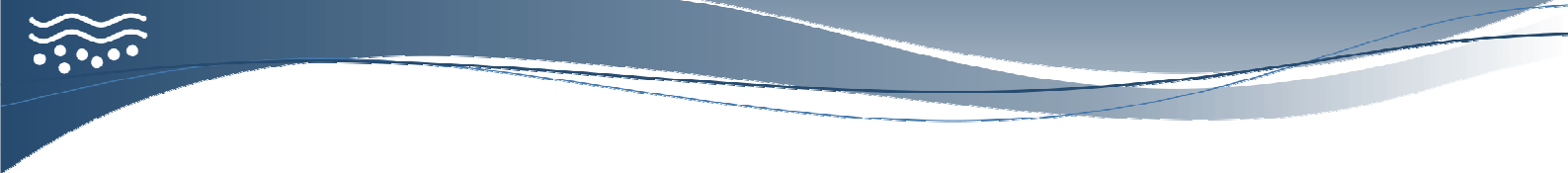


Figura 9 Mapa de gradientes da área de estudo. A área destacada em negro no mapa menor representa a região do levantamento sísmico.

Os dados sísmicos de alta resolução obtidos na área apresentaram uma penetração máxima em torno de 20 ms e permitiram identificar o refletor sísmico correspondente à base da camada de lama superior. A espessura da camada de lama superior variou entre menor do que 1 m e 21 m (Figura 7). Para a conversão Tempo (TWT) X Velocidade foi utilizada a velocidade 1500 m/s. As maiores espessuras foram observadas ao longo de uma faixa com aproximadamente 7 km de largura que atravessa toda a área mapeada na direção NE/SW. Nesta faixa, os valores de espessura variaram entre 7 e 21 m, com os valores máximos sendo observados no extremo norte da área.

A Figura 10 mostra o mapa de contorno estrutural do refletor correspondente a base do corpo lamoso. Pode se observar que a morfologia deste refletor, que corresponderia a paleo-morfologia (ou paleo-batimetria) é bastante semelhante a batimetria atual. Considerando que durante o último máximo glacial o nível do mar esteve em uma posição que corresponde à atual isóbata de 110 – 120 m, vemos que todo o lado SE da área encontrava-se submersa, ao passo que, o lado NE estava em condições de exposição subaérea. Os altos valores de espessura da lama observados no extremo norte da área devem estar mais associados a um maior aporte de sedimentos neste setor do que a morfologia da superfície de deposição.

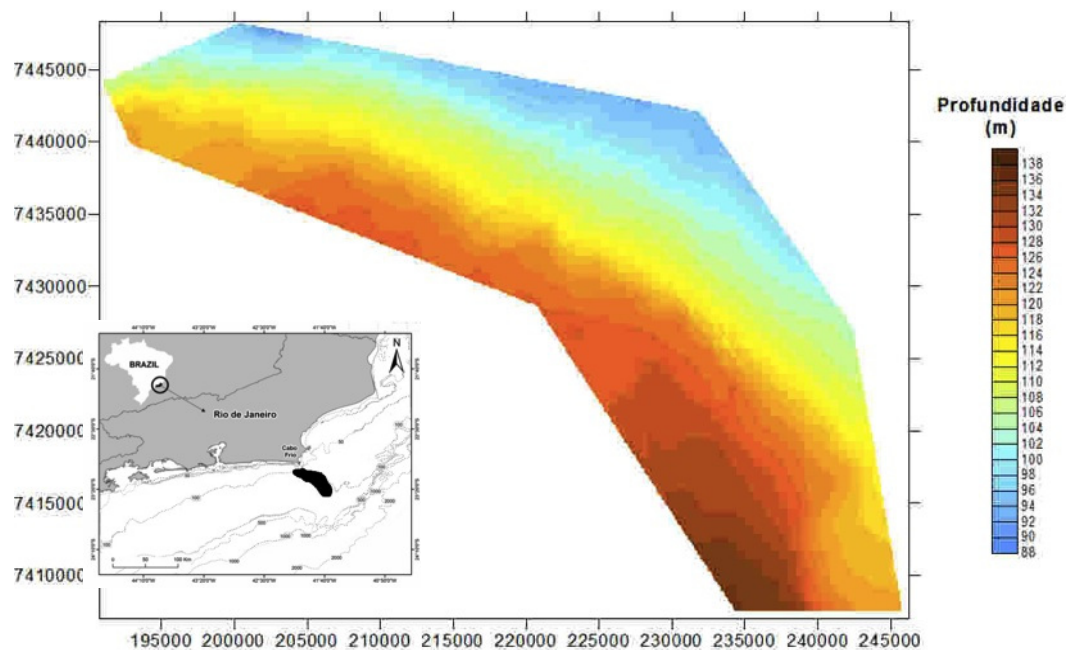
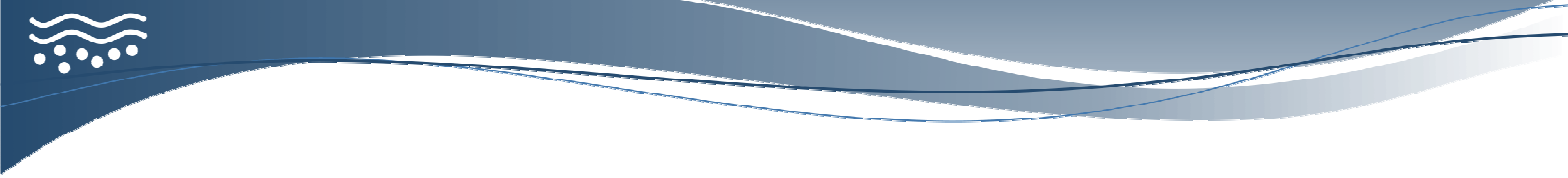


Figura 10 Mapa de contorno estrutural do refletor correspondente a base do corpo de lama. A área destacada em negro no mapa menor representa a região do levantamento sísmico

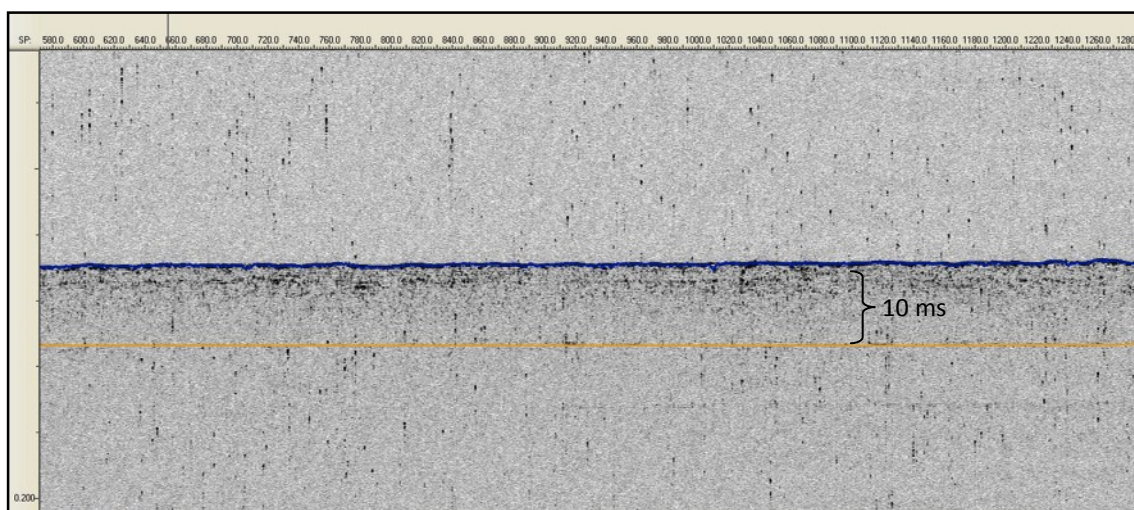


Figura 11 Trecho de linha sísmica mostrando a diferença de estratificação dentro do corpo de lama. O refletor marcado em amarelo corresponde a base da lama e o refletor azul ao fundo marinho.

Do ponto de vista do levantamento sísmico, o corpo de lama apresenta características distintas. Na porção S da área observa-se que a parte superior da camada apresenta uma estratificação leve, ao passo que, a base, mostra-se acusticamente mais transparente (Figura 11). Essa diferença pode indicar processos de compactação diferentes em função de uma menor taxa de sedimentação. De uma maneira geral, altas taxas de sedimentação não permitem a compactação do material, pois não há tempo suficiente para expulsão da água retida no interior do sedimento. Na porção norte da área o pacote de lama é mais espesso não apresenta a estratificação

observada na porção sul, com exceção das linhas mais próximas do continente onde essa camada estratificada volta a aparecer e é bem mais fina do que na porção sul.

Outra feição geológica de interesse observada nos registros sísmicos corresponde a um alto batimétrico de aproximadamente 1,5 m de altura que se estende por aproximadamente 6 km na direção NW-SE (Figura 12). Observa-se no registro sísmico que esta feição possui uma “raiz” que se estende até o refletor correspondente a base do corpo lamoso mostrando uma espessura de 15 ms ou 11 m, considerando uma velocidade do som no sedimento de 1500 m/s. Pelas suas características morfológicas e sísmicas e levando-se em consideração seu alinhamento, subparalelo a paleo linha de costa, é possível que esta feição esteja associado a um beach-rock que encontra-se parcialmente coberto. No entanto, o grande relevo relativo observado sugere uma feição que pode estar associada ao afloramento do embasamento, como já observado em outros locais na proximidade da área de estudo.

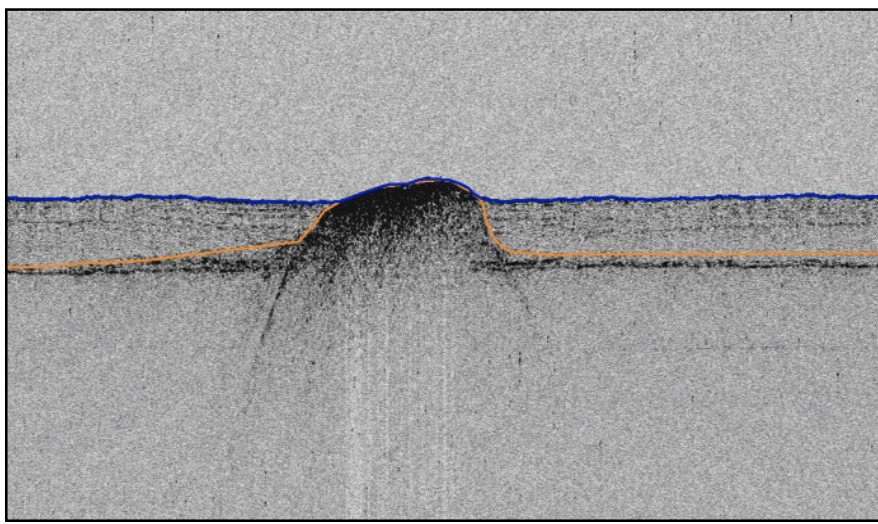


Figura 12 Registro sísmico mostrando estrutura provavelmente associada a um beach-rock ou afloramento do embasamento

Para acessar aos produtos científicos desta atividade:

Mendoza et al., 2011. Sedimentological and geoacoustic facies model for the mud bank of the Cabo Frio upwelling system on Southwest Atlantic. VIII ABEQUA. Buzios, RJ. 9-14 Outubro.

Gomes, 2012. Classificação dos ecos a partir de dados sísmicos de alta resolução na região de Cabo Frio, RJ. V Congresso Brasileiro de Oceanografia. Rio de Janeiro. 13-16 Novembro.

Gomes, 2013. *Sísmica de alta resolução aplicada ao estudo de eco-caráter e evolução sedimentar da plataforma de Cabo Frio, RJ. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia. LAGEMAR/UFF. Em Finalização.*

Atividade Proposta #07: Abertura de testemunhos (“kullenbergs” e “box-cores”) a bordo, em atmosfera inerte (nitrogênio) com auxílio de “glove-box”, como também separação da água intersticial utilizando rizomas porosos e fixação das amostras de sedimento e água intersticial para a análise da especiação do enxofre (S total, S orgânico, DOP, AVS, CRS, $\delta^{34}\text{S}$, H_2S , MEV/EDS).

Tendo em vista as análises da série do enxofre AVS-CRS e de seus isótopos estáveis (^{32}S), a coleta da água intersticial dos testemunhos longos (kullenbergs) foi realizada a bordo, em resolução vertical de 20 cm, imediatamente após a coleta dos perfis sedimentares. Os testemunhos segmentados a cada metro e posteriormente fixados em bases de madeira, especialmente construída e instalada na embarcação pela equipe do Projeto Ressurgência (Foto 5).



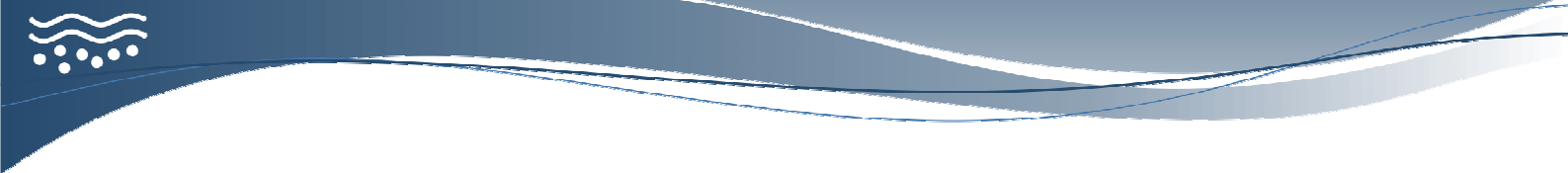
Haste metálica para os testemunhos.

Base de madeira para fixação das hastes metálicas.

Mufas para fixação dos testemunhos nas hastes metálicas.

Foto 5 Base de madeira fixada no barco, para prender as hastes metálicas usadas para segurar os testemunhos durante a retirada de água intersticial.

A água intersticial dos testemunhos kullenberg foi coletada para os pontos (CF 10-01, CF 10-09, CF 10-15). A coleta de água intersticial foi realizada através do sistema rhizoma tipo MOM (10cm). O sistema chamado Rhyzon® consiste de um tubo de polímero poroso (polisulfona, poros de tamanho $0,1\mu\text{m}$) com 10cm de comprimento e diâmetro de 2,5mm,



no interior do qual se encontra uma haste fina em aço inoxidável. Esta haste permite que o sistema inteiro não seja esmagado quando este é introduzido diretamente no testemunho. A extremidade desta haste é munida de uma conexão Luer e a outra extremidade é fechada para que haja um vácuo, quando este é introduzido no sedimento. A seringa conectada ao rizoma permite a extração de água intersticial sem perturbação ao sedimento e sem introdução de oxigênio. Este sistema simplifica a extração de água intersticial, pois torna dispensável o uso de centrífuga ou prensa para tal. As amostras de água intersticial foram fixadas em atmosfera inerte dentro de “Glove-bag”, sob fluxo de N_2 , para evitar a oxidação das amostras.

A tabela abaixo apresenta o volume de água intersticial coletado e a solução fixadora para os parâmetros estudados em cada subamostra.

Parâmetro	Volume	Solução fixadora
Nutrientes	~5ml	Congelada
Sulfato/sulfeto/ ^{34}S	1ml	100 μ L de $Zn(Ac)_2$, 5%.
Metano	4ml	4ml de NaOH, 0.05 N
Metais	1ml	100 μ L de HNO_3 , 1%

Após a retirada da água intersticial foi introduzido no testemunho um pHmetro portátil, com display de leitura combinada de pH e Eh, com correção automática de temperatura e eletrodo externo de aço inoxidável (eletrodo interno de calomelano) resistente ao uso direto no testemunho (Fotos Foto 6, Foto 7 e Foto 8).

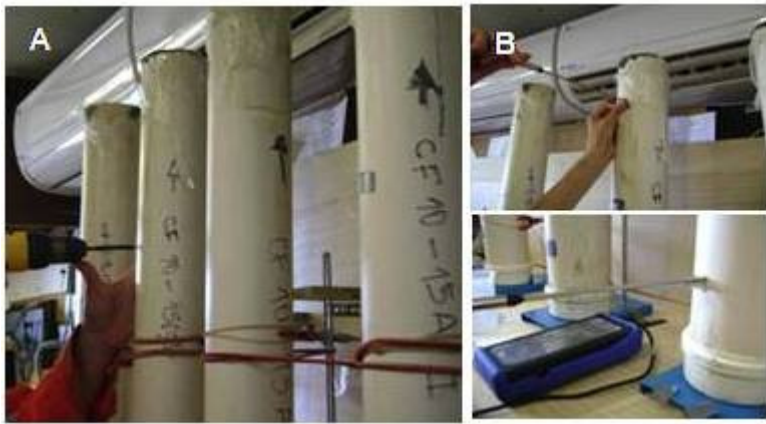


Foto 6 A. Após fixados nas estruturas de sustentação dos tubos (Foto 8), cada fração do testemunho foi perfurada. B. Imediatamente após a perfuração, introduziu-se o eletro para medidas de pH, Eh e Temperatura do sedimento.

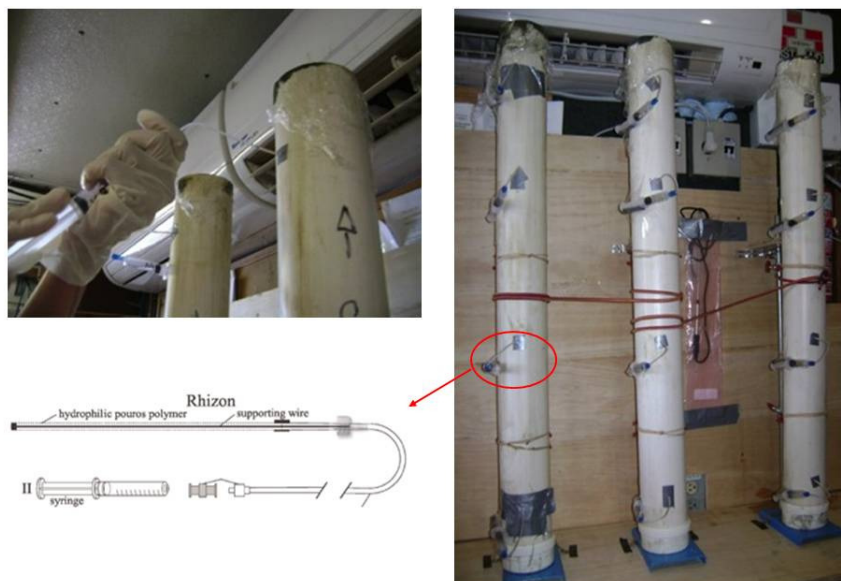


Foto 7 Introdução dos rhizomas nas perfurações feitas em cada testemunho. Detalhe da estrutura de um rhizoma.



Foto 8 Imagem da manipulação de fixação de amostras de água intersticial a bordo da embarcação durante a coleta na plataforma continental de Cabo Frio.



Foto 9 (Esquerda) imagem mostrando a introdução da sonda para medição de pH e Eh nos sedimentos, para posterior retirada de água intersticial através de rizomas e (direita) Imagem do procedimento de retirada de água intersticial de testemunhos box-cores através de rizomas.

Seguindo o procedimento padrão adotado para a coleta de água intersticial dos kullenbergs, a mesma coleta foi realizada para amostras de box-cores (Foto 9).

Para acessar os protocolos analíticos relacionados a esta atividade:

- ***PR_Protocolo Campo_01-11_Corte e rotulagem de testemunhos Kull_Rev01***
- ***PR_Protocolo Campo_03-11_Coleta e Fixação Amostras AI_Rev01***

Para acessar aos produtos científicos desta atividade:

Santos et al., 2010. Physical-chemical of pore-water profiles related to sulphur geochemistry from the Cabo Frio upwelling system. AGU Meeting of the Americas. Foz de Iguaçu, PR. 8-13 Agosto.

Amorim et al., 2010. Características da composição química de água intersticial da região de ressurgência de Cabo Frio, RJ. III GEOAMB. Niterói, RJ. 1-3 Dezembro.

Amorim et al., 2010. Utilização de rhizomas na amostragem de água intersticial na região de Cabo Frio, RJ. III GEOAMB. Niterói, RJ. 1-3 Dezembro.

Amorim et al., 2011. Amostragem de água intersticial de sedimento marinho da região de Cabo Frio, Brasil. VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica. Gramado, RG. 9-14 Outubro.

Amorim et al., 2011. A geoquímica de Fe, Zn, Cu, Ni na água intersticial de sedimento marinho da região de ressurgência de Cabo Frio, Brasil. VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica. Gramado, RG. 9-14 Outubro.

Sales et al., 2011. Variação de elementos terras raras em água intersticial de testemunhos de Cabo Frio. VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica. Gramado, RG. 9-14 Outubro.

Sales et al., 2011. Padrões de concentração de elementos terras raras em água intersticial de testemunhos de Cabo Frio (RJ): seu significado geoquímico. IV GEOAMB. Niterói, RJ. 23-26 Novembro.

Amorim et al., 2011. Processos de diagênese na região de ressurgência de Cabo Frio (RJ). IV GEOAMB. Niterói, RJ. 23-26 Novembro.

Amorim, 2012. Processos de diagênese de metais da água intersticial de sedimento marinho da região de Cabo Frio, RJ. Tese Mestrado. Departamento de Geoquímica, UFF.

Atividade Proposta #08: Abertura de “Box-cores” em intervalos a cada 0,5 cm em laboratório.

Após a coleta das águas intersticiais e sua fixação, todos os testemunhos curtos coletados (box-cores) foram fracionados em subamostras a cada 0,5cm. A subamostragem foi realizada através de extrusão (Foto 10), sendo as subamostras devidamente etiquetadas e armazenadas em sacos plásticos sob refrigeração, seguindo o mesmo procedimento adotado para os testemunhos kullenbergs.



Foto 10 Imagem ilustrando a extrusão de sedimentos dos box-cores coletados na plataforma continental de Cabo Frio.

Para acessar o protocolo analítico relativo a esta atividade:

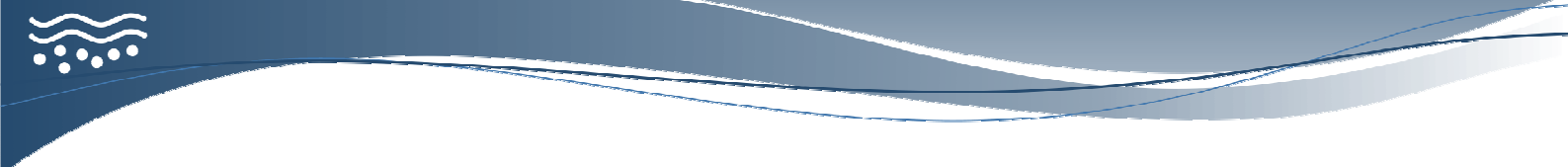
- *PR_Protocolo Campo_02-11_Corte e rotulagem de testemunhos BC_Rev01*

Atividade Proposta #09: Tramitação de documentação na Direção de Hidrografia e Navegação da Marinha, de acordo com a Portaria N° 121/MB de 23/04/2003, referente a fixação do fundeio e levantamento hidrográfico (LH) para fins de pesquisa e investigação científica.

Atividade realizada em junho de 2010, através do envio de ofício para a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, informando o posicionamento do fundeio oceanográfico.

Atividade Proposta #10: Solicitação do serviço “Silent PTT Monitoring” e número de registro (ID) na ARGOS/CLS para o monitoramento contínuo via satélite da localização geográfica do fundeio sub-superficial

Após a submissão de projeto de pesquisa para o Sistema ARGOS, o Projeto Ressurgência recebeu autorização e um número de localização orbital. Com base nisto,



foi firmado um contrato que forneceu o serviço de AVISO DE FLUTUAÇÃO em caso de liberação do fundo e deslocamento superficial do fundeio.

Atividade Proposta #11: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa, visando ajustes e re-planejamento de atividades.

Reuniões gerenciais do projeto ocorreram com frequência semestral com toda a equipe do fixa do projeto (coordenação e pesquisadores contratados) e tiveram como objetivo principal a checagem do cronograma de execução das atividades programadas e reposicionamentos estratégicos, em caso de necessidade.

Atividade Proposta #12: Contato com pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM-Marinha do Brasil) e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos, visando a cooperação técnica-científica e apoio logístico para o acompanhamento dos experimentos em mar.

Ver descrição na Atividade #1

Atividade Proposta #13: Levantamento bibliográfico, síntese e análise crítica de dados.

Ver descrição na Atividade #2

Atividade Proposta #14: Análises físicas dos testemunhos longos (“Kullenberg”) - (susceptibilidade magnética, gama, etc.)

Tendo como principal objetivo auxiliar as correlações estratigráficas entre os testemunhos coletados no mesmo ponto de coleta, como também ao longo da plataforma, realizou-se uma análise de varredura dos parâmetros físicos dos sedimentos. Além disto, os próprios parâmetros físicos, tais como a densidade gamma e a susceptibilidade magnética permitem também entender as diferenças deposicionais em alta resolução vertical. Para tal, foram realizadas medidas da velocidade de ondas P

(Vp), densidade gama e susceptibilidade magnética utilizando o perfilador de testemunhos MSCL da Geotek (Figura 13) que consiste em um sistema computadorizado para perfilagem de testemunhos.

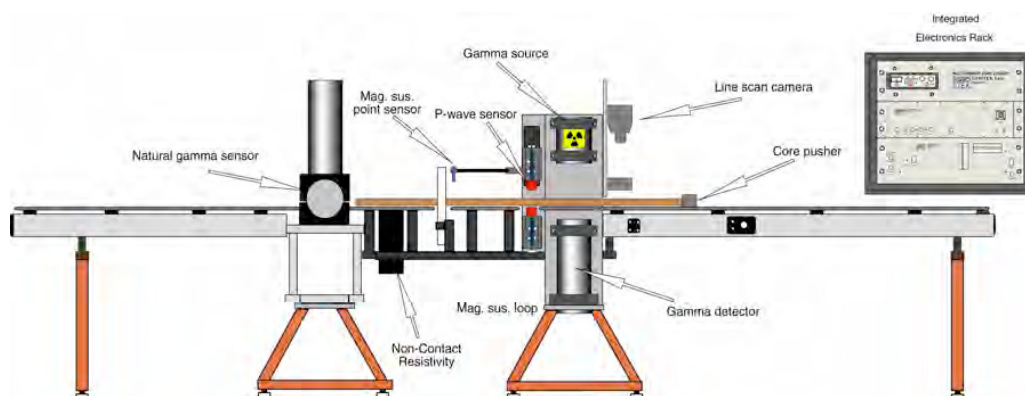


Figura 13 Equipamento Multi-Sensor Core Logger (MSCL) utilizado para análise geofísica (velocidade de onda P, densidade gama e susceptibilidade magnética). Fonte: MSCL Overview, 2007.

O testemunho é conduzido, ainda encapsulado em tudo de PVC, pelos diversos sensores, realizando testes não destrutivos e armazenando os dados de maneira sincronizada e simultânea. O sistema de velocidade de ondas “P” consiste em dois transdutores (Figura 14) de ultra-som na frequência de 250 kHz, posicionados em lados opostos do testemunho, permitindo que a onda emitida em um seja detectada no outro.

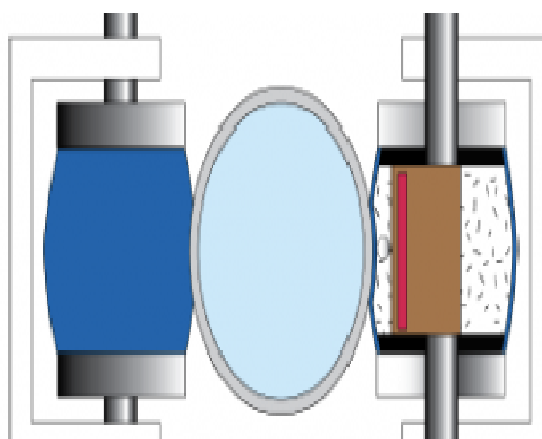
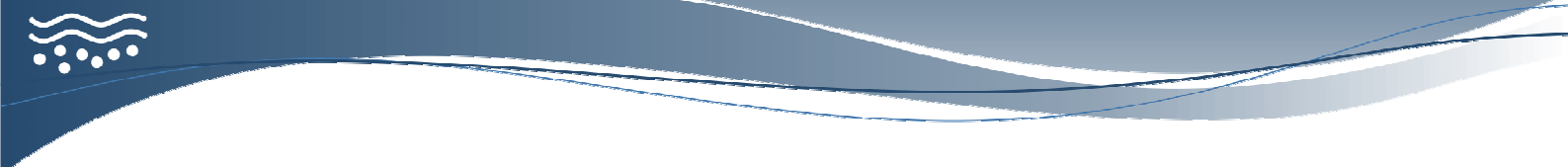


Figura 14 Sistema de medição de Vp no MSCL. Observa-se que os transdutores estão diametralmente opostos em relação ao testemunho.

O sensor de densidade gama constitui em uma cápsula de 10 mili-Curie de Césio-137 protegida em um invólucro de chumbo com um colimador de 2,5 e 5mm, produzindo energia principalmente a 0,062 MeV. O mecanismo de medida de densidade gama se dá pelo Efeito Compton. Os fótons emitidos pela fonte passam pelo testemunho e são detectados no outro lado. Nessa trajetória, os fótons sofrem

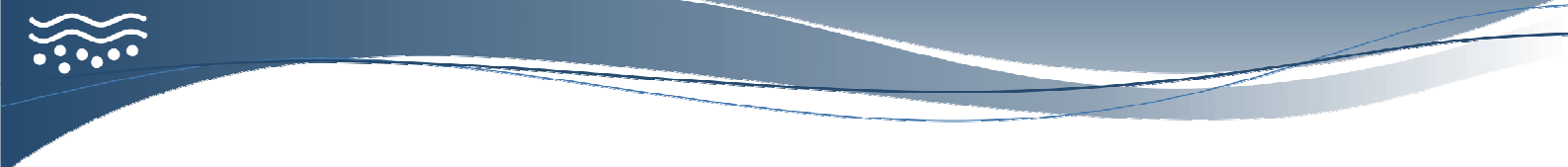


espalhamento ao se chocarem com os elétrons presentes no testemunho, e consequentemente há perda de energia parcial, ou seja, atenuação dos raios gama. A atenuação, portanto, está diretamente relacionada ao número de elétrons no feixe de raios gama (espessura do testemunho e a densidade dos elétrons). Ao medir o número de fótons gama transmissíveis que passam através do testemunho, a densidade do sedimento pode ser determinada. Para diferenciar os fótons gama dispersos e transmitidos, o sistema de detecção gama conta somente os fótons que têm a mesma energia da fonte, isso quer dizer que há uma janela de contagem em torno de 0,062 MeV.

Os dados de densidade gama podem fornecer dados de densidade volumétrica precisos e alta resolução, assim como ser um bom indicador de litologia e mudanças de porosidade. Outra aplicação importante é o cálculo da impedância acústica, cujos dados serão utilizados nesta monografia, e a construção de sismogramas sintéticos. Os valores de porosidade podem ser calculados assumindo sensivelmente que: o sedimento é totalmente saturado com água, ar ou qualquer outro fluido; densidade do mineral predominante e densidade do fluido.

O sistema para medidas de susceptibilidade magnética apresenta um circuito oscilador que produz um campo magnético alternante (0,565 KHz) de baixa densidade, não saturado (aprox. 80 A/m RMS) que se modifica com a passagem de qualquer material com susceptibilidade magnética.

No testemunho CF10-01, os valores de V_p variaram de 1480 m/s e 1735 m/s para os dois testemunhos perfilados (01A e 01D). Variações de valores para um mesmo ponto em testemunhos diferentes tiveram uma variação máxima da ordem 10%. Os menores valores são encontrados na porção superior dos testemunhos, aumentando em direção a base. Valores anômalos encontrados na segunda seção do testemunho CF10-01A estão relacionados a problemas de acoplamento entre o sedimento e a parede do PVC. Os valores de densidade gamma observados neste ponto de amostragem apresentaram valores entre 1,60 g/cm³ e 2,17 g/cm³. Os valores medidos nos dois testemunhos são bastante coerentes, com exceção da parte superior do testemunho CF10-01D que apresenta valores muito baixos e que não se refletem nos valores de V_p . Por outro lado, os perfis de susceptibilidade magnética apresentam discrepâncias consideráveis, principalmente nos dois primeiros metros de testemunhos. A susceptibilidade magnética de sedimentos marinhos superficiais reflete basicamente a composição mineralógica do material. De uma maneira geral, sedimentos argilosos ou com grande quantidade de minerais pesados apresentam maiores valores de susceptibilidade magnética do que

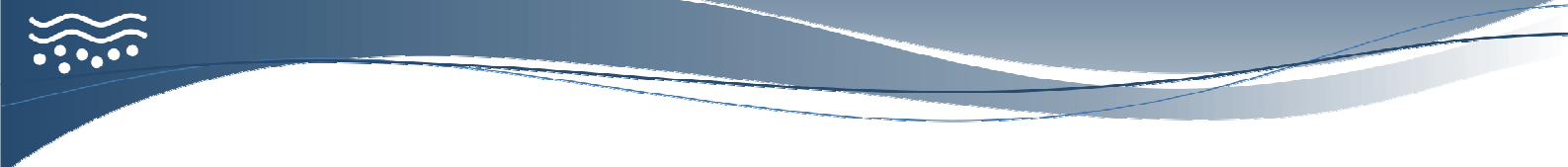


sedimentos quartzosos ou carbonáticos. Os valores negativos observados no topo dos testemunhos indicam maiores teores de carbonato do que na base do testemunho. Os perfis de impedância acústica (produto entre V_p e densidade γ) refletem a variação observada nos testemunhos. Valores discrepantes são observados na segunda seção do testemunho CF10-01A e no topo o testemunho CF10-01D.

No caso do testemunho CF10-09, as propriedades físicas seguiram a tendência geral observado nas outras estações. O perfil de velocidade de onda P mostrou valores variando entre 1420 m/s na porção superior e 1550 m/s na porção inferior do testemunho. Os valores observados nos dois perfis apresentam alta coerência com erros inferiores a 8% para um mesmo ponto. Os perfis de densidade mostraram valores mínimos da ordem de 1.45 g/cm^3 e máximos de 1.75 g/cm^3 . Os valores são coerentes entre os dois testemunhos com exceção da seção entre 0,2 e 0,4 m onde o testemunho CF10-09B apresentou um pico de alta densidade não observado no testemunho CF10-09A. Os valores de susceptibilidade magnética apresentaram valores próximos de zero, com o testemunho CF10-09^A mostrando valores essencialmente negativos com exceção do topo do testemunho, onde os valores chegam a $6.4 \text{ SI} \times 10^6$. Por outro lado, o testemunho CF10-09B apresentou valores positivos próximos de zero com exceção do topo onde os valores apresentaram grande variação possivelmente resultado de problemas no topo do testemunho. Os perfis de impedância mostram valores entre 2100 e 2680 m/s.g/cm^3 com os maiores valores sendo observados na base do testemunho.

Para o testemunho CF10-15, foram observadas as maiores variações entre as medidas realizadas nos testemunhos. Apesar das tendências serem semelhantes as variações entre os valores medidos para um mesmo ponto chegam a 20%. Para os valores de V_p no testemunho CF10-15A foram observados valores variando entre 1500 m/s e 1685 m/s, sendo que os maiores valores são observados na base do testemunho. Já o testemunho CF10-15B apresentou valores mais constantes e essencialmente menores do que o observado no testemunho CF10-15A.

Os perfis de densidade mostraram tendências opostas. Enquanto que o testemunho CF10-15B apresentou uma tendência normal de aumento da densidade com a profundidade, o perfil do testemunho CF10-15A mostrou uma tendência inversa, com as menores medidas ocorrendo na base do testemunho. Os valores mínimos e máximos observados foram de 1.5 g/cm^3 e 2.4 g/cm^3 para o testemunho CF10-15A e 1.7 g/cm^3 e 2 g/cm^3 para o testemunho CF10-15B. Os perfis de susceptibilidade magnética apresentaram um padrão semelhante ao observado na estação CF10-09, com os valores de um testemunho (CF10-15A) ligeiramente acima de zero e de outro ligeiramente abaixo



de zero (CF10-15B). Entretanto, no topo das duas seções, observa-se uma excelente coerência entre os valores medidos. Nesta seção dos testemunhos os valores são os maiores observados, sugerindo um menor teor de carbonato nos sedimentos. Os perfis de impedância acústica repetem basicamente nos perfis de Vp e densidade mostrando o mesmo comportamento diferenciado entre os testemunhos. A fim de verificar a relação entre as propriedades físicas e as camadas geológicas em sub-superfície os perfis Vp, densidade gamma, susceptibilidade magnética e impedância acústica foram correlacionados com os perfis sísmicos.

A Figura 15 mostra a correlação entre os perfis na estação CF10-01. Observa-se que, apesar da camada superficial de lama apresentar característica sísmica essencialmente transparente, os perfis geofísicos mostram a presença de uma camada superficial com baixa velocidade de onda P, baixa densidade e baixos valores de susceptibilidade magnética com aproximadamente 1 ms de espessura (~ 0,75m). A partir deste ponto os valores de Vp e densidade mostram um aumento brusco e contínuo dos valores com a profundidade. Por outro lado, os valores de susceptibilidade magnética passam a diminuir até 4 ms (~ 3 m) abaixo do leito marinho. Deste ponto em diante os valores de susceptibilidade magnética voltam a subir evidenciando o perfil sísmico obtido na estação 15 e mostram que a parte superior da camada superficial de lama apresenta estratificação marcante, enquanto a parte inferior apresenta uma característica sísmica mais homogênea e transparente. Essa parte inferior da camada não foi atingida pelo testemunho. O padrão “serrilhado” verificado nos perfis de Vp, densidade gamma, susceptibilidade magnética e impedância acústica evidencia essa estratificação. Os picos observados nestes perfis correlacionam extremamente bem com os refletores sísmicos (refletor a 3 ms abaixo do fundo), sugerindo que essa estratificação esteja associada, em termos granulométricos, à variações nas porcentagens de areia e lama, ou termos mineralógicos, a variações nos teores de argila e carbonato. As duas situações podem afetar os parâmetros físicos medidos.

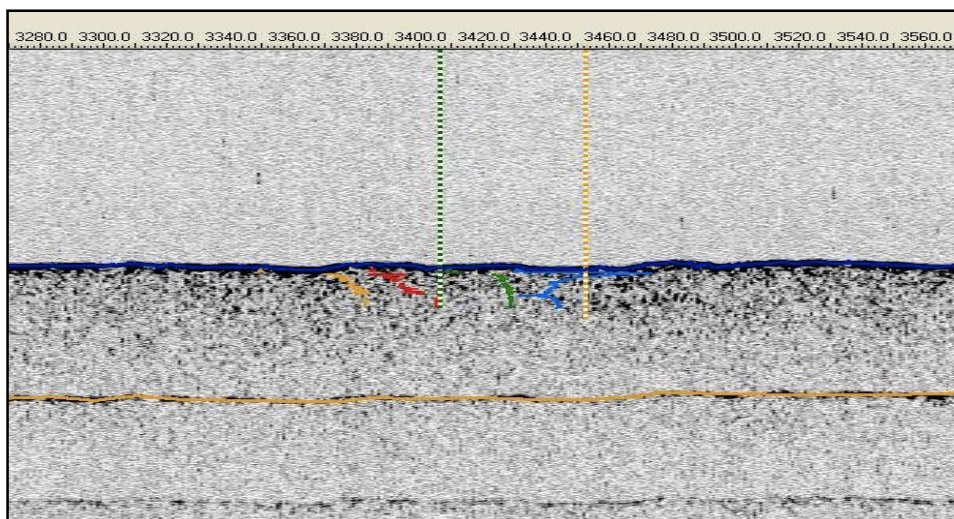
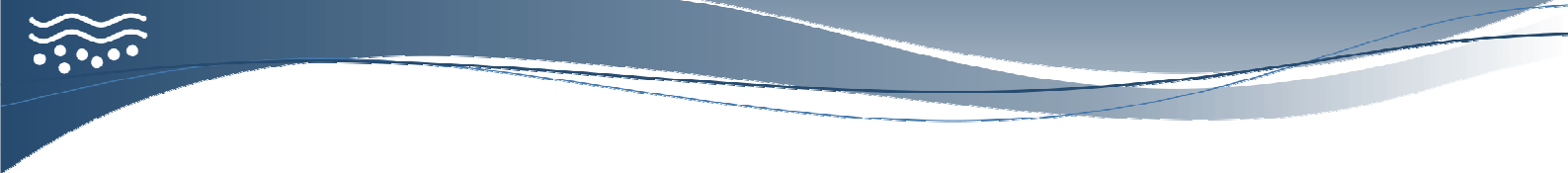


Figura 15 Perfis geofísicos sobrepostos à linha sísmica na estação CF10-01 (Vp = vermelho; Densidade = verde; Susceptibilidade magnética = azul; Impedância acústica = amarelo)

A mesma situação é observada na estação CF10-09 (Figura 16). Aqui o padrão sísmico da camada de lama mostra que a parte superficial caracteristicamente estratificada é mais espessa, enquanto que a parte inferior mais transparente é limitada a uma espessura de 3 ms (~ 2.3 m). Observa-se o mesmo padrão serrilhado nos perfis geofísicos associado a estratificação da camada. Interessante observar que nas posições de 2 e 3 ms abaixo do fundo marinho há uma inversão nas tendências do perfil sugerindo a presença de materiais com características diferenciadas.

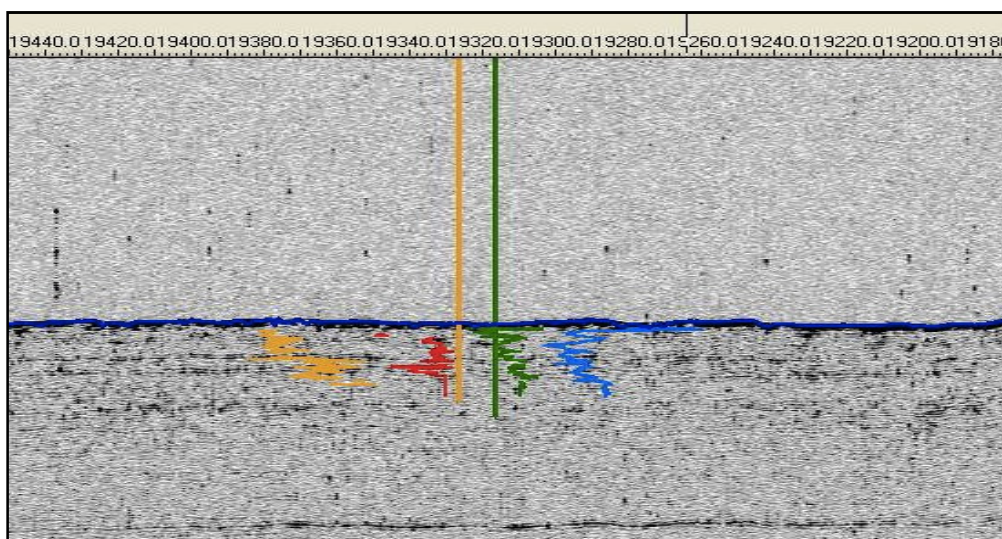


Figura 16 Perfis geofísicos sobrepostos à linha sísmica na estação CF10-04 (Vp = vermelho; Densidade = verde; Susceptibilidade magnética = azul; Impedância acústica = amarelo)

A situação na estação CF10-15 (Figura 17) se assemelha bastante à situação observada na estação CF10-01. A camada estratificada superior tem espessura bastante reduzida (1 ms ou $\sim 0,75$ m) mas é claramente observada nos perfis geofísicos com picos claros

nos perfis de Vp e susceptibilidade magnética. A partir deste ponto observa-se uma tendência de diminuição de velocidade de ondas P e densidade com a profundidade (apesar de algumas inversões de tendência de pequena amplitude) e de um ligeiro aumento da susceptibilidade magnética com a profundidade até 5 ms (~ 3.75 m). A partir deste ponto, o perfil de susceptibilidade magnética inverte sua tendência e passa a diminuir com a profundidade e os perfis de Vp e densidade gamma apresentam um perfil mais constante. Dessa forma, podem ser visualizadas pelo menos 3 camadas distintas neste pacote sedimentar, apesar de não se observar mudanças nas fácies sísmicas do pacote.

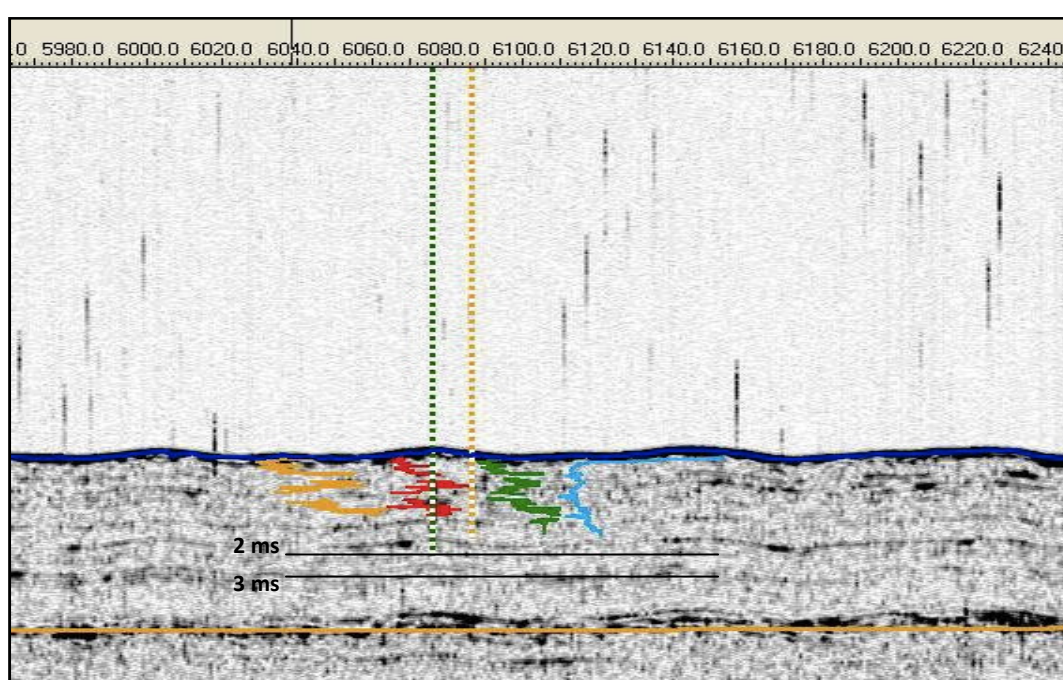


Figura 17 Perfil geofísicos sobrepostos à linha sísmica na estação CF10-09 (Vp = vermelho; Densidade = verde; Susceptibilidade magnética = azul; Impedância acústica = amarelo).

Para acessar os protocolos analíticos desta atividade:

1. PR_Protocolo Lab_02-11_Perfilagem de testemunhos_Rev01

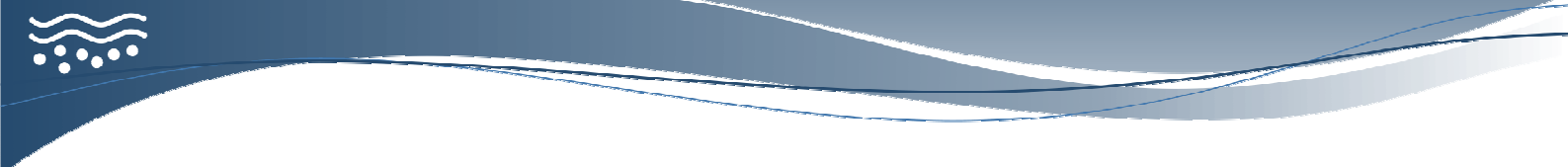
Para acessar ao conjunto de dados obtidos referentes a esta atividade:

Acesse o banco de dados na mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

1. [BDPR]/TestemunhosLongos/ParametrosFisicos_Kullenberg_Rev130325.xls.

Para acessar os produtos científicos produzidos com dados desta atividade:

Cruz et al., 2011. Propriedades geofísicas associadas ao sedimento marinho superficial da região de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil. VIII ABEQUA, Buzios, RJ. 9-14 Outubro.



Cruz, 2012. Variações seculares de facies sedimentares de lama da plataforma continental de Cabo Frio, RJ. Tese de Mestrado. Departamento de Geoquímica, UFF.

Gomes, 2013. Sísmica de alta resolução aplicada ao estudo de eco-caráter e evolução sedimentar da plataforma de Cabo Frio, RJ. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia. LAGEMAR/UFF. Em Finalização.

Cruz et al. Physical and geochemical properties of centennial marine sediments of the continental shelf of Southeastern Brazil. Geochemica Brasiliensis. Aceito.

Atividade Proposta #15: Planejamento relativo à localização, profundidade de ancoragem e desenho do fundeio baseados em aspectos oceanográficos, científicos e técnicos, como também em informações do IEAPM-Marinha do Brasil e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos.

Objetivando a buscar as soluções relativas à instalação do fundeio oceanográfico na plataforma continental ao largo de Cabo Frio, como também incentivar a troca de know-how, o Grupo de Pesquisa da UFF, em conjunto com o Grupo da COPPE, mantiveram intenso contato com o Centro de Sinalização Náutica Almirante Moraes Rego (CAMR), da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Diversas condições e cenários de instalação foram discutidos, no entanto, ao final optou-se pelo fundeio com bóia sub-superficial (-30 m), por considera-lo o mais seguro para a região.

Atividade Proposta #16: Testes-piloto do funcionamento e programação dos sensores oceanográficos (corrente, temperatura, turbidez, clorofila) acoplados ao fundeio. Avaliação dos intervalos de amostragem das armadilhas de sedimentação e métodos de preservação de amostras.

Testes-piloto de funcionamento e programação dos sensores foi realizado em abril de 2010 a bordo do Paq. Oc. DIADORIM. Nesta oportunidade, a equipe do Projeto Ressurgência (Grupo I – COPPE e Grupo II – UFF) e da empresa OKEANUS (contratada naquele momento para fornecer apoio e manutenção dos sensores do fundeio) realizaram testes de programação com os liberadores acústicos e ADCPs (Foto 11).



Foto 11 Imagem mostrando procedimento para programação teste do liberador acústico a bordo do Paq. Oc. DIADORIM/Marinha do Brasil.

Diversas reuniões para planejamento dos experimentos foram realizadas entre as equipes dos Grupos I (COPPE) e Grupo II (UFF) do Projeto Ressurgência visando a obtenção de um plano de instalação dos equipamentos e uma estratégia para a obtenção de dados físicos (programação dos equipamentos). A partir destas discussões, foi estabelecida a programação de sensores para obtenção de dados a cada 30 minutos, com integração de 3 minutos. A recuperação das amostras foi planejada a cada 90 ± 10 dias.

Atividade Proposta #17: Treinamento técnico da equipe de campo nas manobras de instalação e recuperação do fundeio e na manutenção dos equipamentos do fundeio.

Em julho de 2010, a bordo do Av.Pq.Oc. Diadorim foi realizado um treinamento das equipes para a instalação do fundeio. Nesta oportunidade, a simulação contou com todos os equipamentos e também com as equipes operacionais do projeto (UFF) e da tripulação do navio.

Atividade Proposta #18: Instalação do fundeio.

Em 11 de novembro de 2010 foi instalado o fundeio oceanográfico na plataforma continental a 42 milhas náuticas de Arraial do Cabo, em uma profundidade de 145 metros. Este primeiro experimento foi programado para coletar continuamente dados oceanográficos a cada 30 minutos e amostras em intervalos integrados de 3 dias. A partir deste primeiro experimento, os fundeios subsequentes sofreram alterações tanto

nos intervalos de integração de amostras (5 a 7 dias), quanto no posicionamento dos equipamentos (Figura 18).

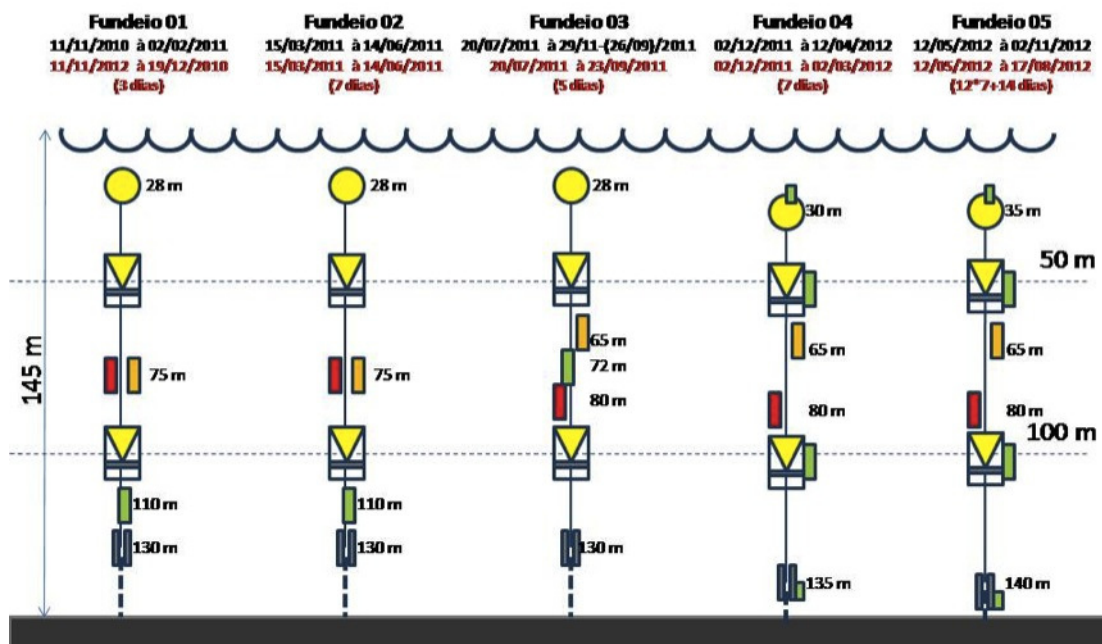


Figura 18 Configuração do fundeiro oceanográfico ao longo dos experimentos realizados entre 2010 e 2012.

Atividade Proposta #19: Implantação/otimização de técnicas de pré-tratamento de amostras oriundas da interface água-sedimento (“box-cores”).

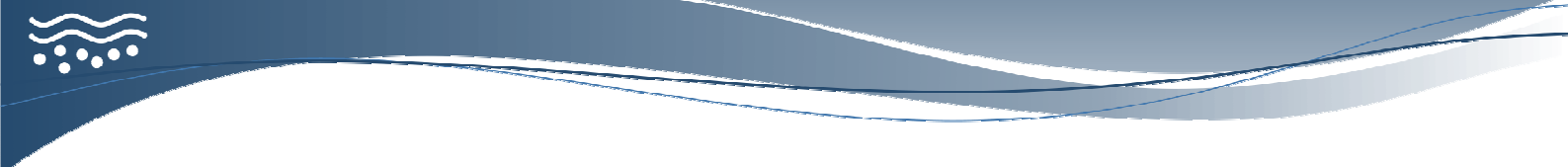
Todas as técnicas utilizadas para o estudo das águas intersticiais estão descritas detalhadamente no protocolo analítico desta atividade.

Para acessar o protocolo analítico referente a esta atividade:

- *PR_Protocolo Campo_03-11_Coleta e Fixação Amostras AI_Rev01*

Atividade Proposta #20: Pré-tratamentos analíticos (descarbonatação e pesagem) necessários para as análises de geoquímica orgânica elementar (COT, NT), isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) e alquenonas na matéria orgânica dos sedimentos da interface água-sedimento (“Box-cores”).

As subamostras dos testemunhos amostrados tanto por kullenbergs, quanto por box-corer foram submetidas à descarbonatação para análises dos teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), como também seus isótopos estáveis ($\delta^{13}\text{C}$ e



$\delta^{15}\text{N}$), como também para granulometria. No caso das análises granulométricas, a oxidação da matéria orgânica através do ataque com Peróxido de Hidrogênio também foi executada. As análises de COT, NT e dos isótopos estáveis foram executadas em laboratório contratado (Stable Isotope Facility - UC Davis, University of California - EUA), seguindo seu protocolo de análises.

Para acessar aos protocolos analíticos referentes as análises desenvolvidas no LOOP:

- *PR_Protocolo Lab_03-11_Descarbonatação Sedimentos_Rev02*
- *PR_Protocolo Lab_04-11_Granulometria_Pre-tratamento_Rev02*
- *PR_Protocolo Lab_05-11_Análise Granulométrica_CILAS_Rev01*
- *PR_Protocolo Lab_06-11_Tratamento Dados Análise Granulométrica_GRADISTAT_Rev01*

Para acessar os produtos científicos produzidos com dados desta atividade:

Cardoso et al., 2011. Composição granulométrica de sedimento superficial da região de Cabo Frio, Brasil. IV GEOAMB. Niterói, RJ. 23-26 Novembro

Atividade Proposta # 21: Elaboração e registro dos protocolos analíticos.

Os protocolos analíticos, de campo e gerenciais foram elaborados para todas as atividades propostas e executadas no escopo do Projeto Ressurgência e podem ser acessados no item Protocolos Analíticos deste relatório final.

Atividade Proposta #22: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa, visando ajustes e re-planejamento de atividades

Ver descrição na Atividade #11.

Atividade Proposta #23: Elaboração de relatório parcial integrado.

No primeiro ano de execução do Projeto Ressurgência-UFF foram apresentados dois relatórios parciais de atividades, em fevereiro de 2010 e em agosto de 2010.

Atividade Proposta #27: Datação das amostras de testemunhos curtos (“Box-cores”) e elaboração de modelo geocronológico.

Esta atividade foi desenvolvida como objeto da monografia de graduação, a ser defendida em abril de 2013, do aluno Pedro Paes Caldeira (CPF 104.688.747-55), regularmente matriculado no curso de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro e orientado pelo Dr. Sambasiva Rao Patchneelam do Programa de Geoquímica Ambiental da UFF.

A geocronologia de testemunhos curtos (box-cores) foi estabelecida através de técnica radiométrica do ^{210}Pb . Este radioisótopo, que tem meia-vida de 22.3 anos, é um traçador ideal para determinar a acumulação sedimentar numa escala temporal secular. A técnica analítica (ver Protocolo Analítico) baseia-se no decaimento da série do ^{238}U , o qual depois de vários decaimentos de partículas α e β , chega ao radionuclídeo ^{226}Ra , com meia-vida de 1600 anos, que decai para o ^{222}Rn , um gás nobre com uma meia vida de 3,8 dias. O gás ^{222}Rn decai em vários isótopos de meia-vida curtas, chegando ao ^{210}Pb .

Os átomos de ^{210}Pb associam-se às partículas do ar e são removidos da atmosfera pela precipitação úmida ou deposição seca. O fluxodo ^{210}Pb pode variar durante um curto tempo. Entretanto, assumindo condições climáticas estáveis, o fluxo do ^{210}Pb deveria ser constante em um tempo maior. Para a determinação da geocronologia dos testemunhos box-cores: BCCF10-09, BCCF10-15 e BCC10-01 foram extrudidos com resolução de 1 cm e deixadas em repouso por 20 dias para alcançarem o equilíbrio secular entre o ^{226}Ra e seus filhos ^{214}Pb e ^{214}Bi (Foto 12).



Foto 12 Imagens da extrusão dos sedimentos (esquerda) e do repouso para equilíbrio secular (direita).

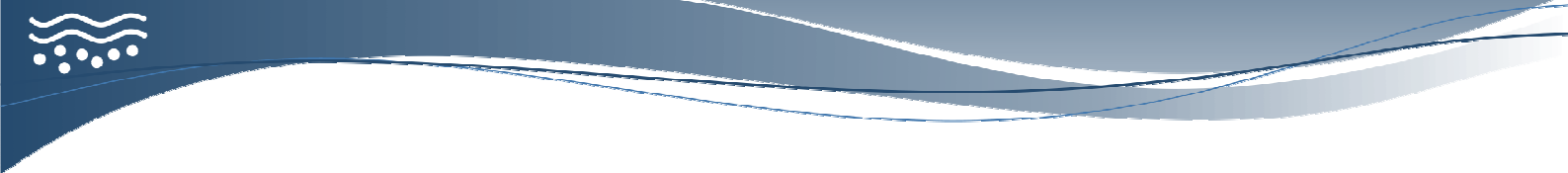


Foto 13 Detector semi-planar de Germânio do Laboratório de Radioisótopos do Programa de Geoquímica da UFF.

A atividade do ^{210}Pb foi medida diretamente em um detector semi-planar de Germânio de alta-pureza do Laboratório de Radioisótopos do Programa de Geoquímica Ambiental da UFF (Foto 20). A contagem dos picos do ^{226}Ra foi realizada através da medida de seus filhos ^{214}Bi e ^{214}Pb (295,2 KeV) (351,9 KeV) e (609,3 KeV). A atividade do Pb não suportado foi estimada subtraindo-se o ^{226}Ra do total de ^{210}Pb . As taxas de sedimentação foram então determinadas pelo método de Constant Initial Concentration (CIC). Os resultados obtidos mostraram um decaimento regular da atividade do ^{210}Pb em excesso ($^{210}\text{Pb}(\text{ex})$) para todos os três pontos (Figura 19). Estas atividades podem ser afetadas por diferentes tendências granulométricas, que podem alterar a distribuição do $^{210}\text{Pb}(\text{ex})$. Assim os resultados foram normalizados com o conteúdo de lama (fração granulométrica $> 63\mu\text{m}$). Após a normalização o log natural da atividade do ^{210}Pb apresenta uma tendência de declínio aproximadamente linear em relação a profundidade (Figura 20), o que implica em assumir a premissa de uma taxa de sedimentação constantes.

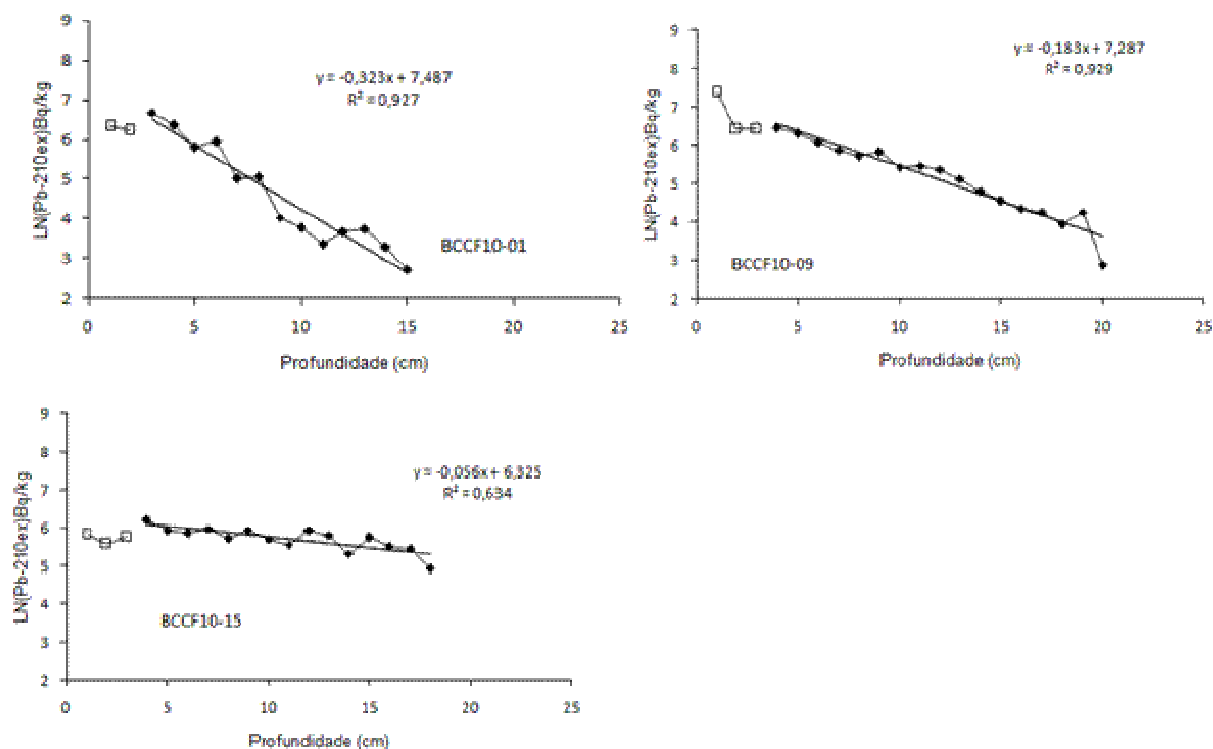
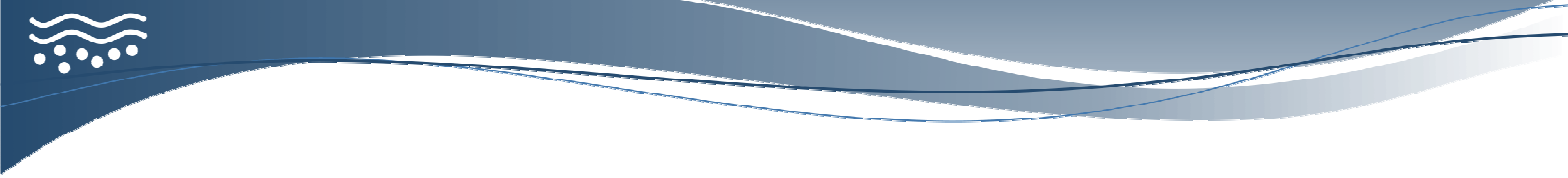


Figura 19 Atividade do ^{210}Pb em excesso nos testemunhos curtos (box-cores) BCCF10-01, BCCF10-09 e BCCF10-15.

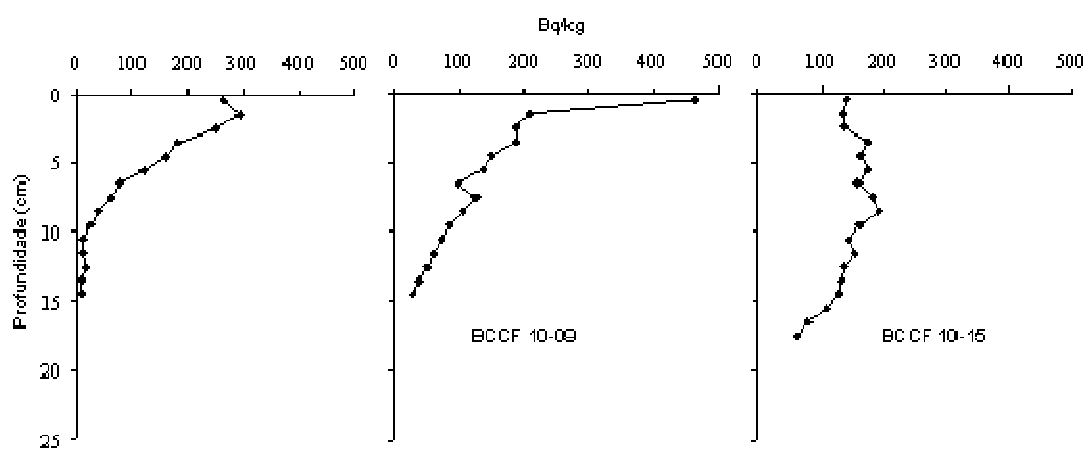


Figura 20 Atividade $\text{Ln}[^{210}\text{Pb}(\text{ex})]$ em relação a profundidade.

As taxas foram calculadas através do coeficiente angular da tendência do decaimento em relação a profundidade e foram determinadas para os pontos 01, 09 e 15 em respectivamente 1.0 mm/ano, 1.7mm/ano e 5.5 mm/ano.

Para acessar a integralidade dos dados obtidos nestas atividades (datação):

Acesse o banco de dados no mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

- [BDPR]/Geocronologia/Datações por Pb210 e Ra226 testemunhos curtos.xls.

Para acessar os produtos científicos referentes a esta atividade:

Caldeira et al., 2011. Padrão de distribuição de alquenonas na plataforma continental de Cabo Frio: bases para a calibração de proxy para a reconstrução de paleotemperaturas da superfície do mar. VIII ABEQUA. Buzios, RJ. 9-14 Outubro.

Caldeira et al., 2011. Determinação da taxa de sedimentação e acumulação de carbono em Cabo Frio a través do ^{210}Pb . IV GEOAMB. Niterói, RJ. 23-26 Novembro.

Caldeira et al., 2011. Large organic carbon burial in recent (~100 years) continental shelf sediments along the Cabo Frio, Brazil upwelling system. AGU Fall Meeting. San Francisco. California, USA. 5-9 Dezembro.

Caldeira et al., 2012. Dinâmica de sedimentação e taxa de acumulação de carbono na plataforma continental entre as Bacias de Campos e Santos. Prêmio Petrobras de Tecnologia, 6ta Edição. Submetido.

Sanders et al. Recent organic carbon accumulation (~100 years) along the Cabo Frio, Brazil upwelling region. Continental Shelf Research. Submetido.

Atividade Proposta #28: Implementação das análises da especiação do enxofre (S total, S orgânico, DOP, AVS, CRS, $\delta^{34}\text{S}$, H_2S).

Em março de 2010, foi realizado um treinamento nos métodos da especiação inorgânica do enxofre no Departamento de Geologia do Instituto do Mar do Norte (Institut für Ostseeforschung Warnemünde – IOW) em Warnemünde, Alemanha. Nesta oportunidade, o treinamento contou com dois membros da equipe do projeto (UFF) dirigidos pelo colaborador Dr. Michael Böttcher.

A partir deste treinamento foram importados e instalados na UFF os equipamentos necessários para as análises do Acid Volatile Sulfide (AVS), Chromium Reducible Sulfur (CRS), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e sulfato (SO_4^{2-}). As análises foram realizadas com sucesso e os isótopos do enxofre ($\delta^{34}\text{CRS}$, $\delta^{34}\text{SO}_4^{2-}$) foram isolados para posteriormente ser determinados em cooperação com o IOW junto às respectivas análises elementares (C,N,S). Em base á somatória das espécies inorgânicas e ao conteúdo total do enxofre foi estimado o enxofre potencialmente ligado à fração orgânica. Assim mesmo, as análises necessárias para o cálculo do grau de piritização (Degree of Pyritization – DOP) e o grau de piritização de metais traços (Degree of Trace Metals Pyritization – DTMP), foram implantadas com sucesso na UFF. Análises de concentrações totais e abordagens de normalização geoquímica (geralmente

empregando razões elementares em relação ao Al) têm sido realizadas para avaliar o comportamento de elementos-traço em resposta às condições redox passadas e a paleoproductividade. Entretanto os procedimentos de extração parcial evitam influências de frações detríticas sedimentares, e informações sobre o fracionamento geoquímico entre fases operacionais definidas, podem contribuir para elucidar a sensibilidade de diferentes elementos a processos biogeoquímicos específicos.

Entre os métodos de extrações sequenciais implantados, estimamos o grau de incorporação de metais na pirita, inicialmente avaliado para o ferro (DOP) e posteriormente estendido para elementos-traço(DTMP). Este método melhora a avaliação da adequação desses elementos como indicadores de processos envolvendo condições paleo-redox e paleoproductividade, e a previsão do comportamento de contaminantes metálicos. (ver detalhe metodológico nos Protocolos Analíticos).

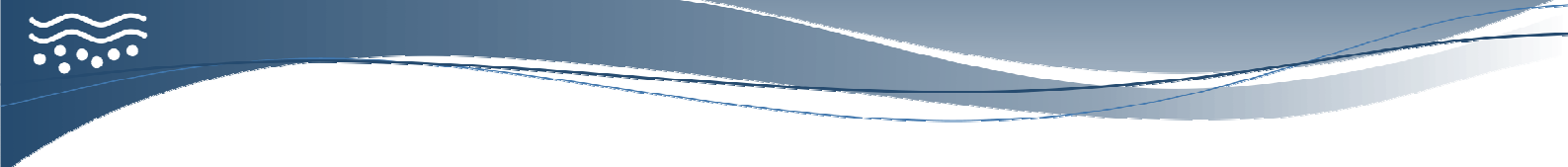
Para acessar os detalhes metodológicos relacionados à esta atividade:

- *PR_Protocolo_Lab_18-11_Metais Totais_Rev01*
- *PR_Protocolo_Lab_19-11_Pirita e DOP_Rev01*
- *PR_Protocolo_Lab_20-11_AVS-CRS_Rev01*
- *PR_Protocolo_Lab_23-11_Análise de Sulfato em agua intersticial_Rev01*
- *PR_Protocolo_Lab_29-11_Análise de Fe²⁺ e Fe³⁺ em agua intersticial_Rev01*

Atividade Proposta #29: Determinação da assembléia de foraminíferos planctônicos, geoquímica elementar (Mg/Ca, Sr/Ca) e isotópica ($\delta^{18}\text{O}$) nos carbonatos biogênicos das espécies *G. bulloides* e *G. ruber* em amostras de “Box-corers” e fundeio.

Esta atividade foi desenvolvida como tema da dissertação de mestrado de Igor Martins Venancio Padilha de Oliveira (CPF 103.777.327-61) a ser defendida em fevereiro de 2014 no Programa de Geoquímica Ambiental, sob a orientação da Dra. Ana Luiza Albuquerque.

Estudos utilizando assembleia de foraminíferos planctônicos, assim como sua composição isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$) tem sido amplamente usados, devido à alta sensibilidade destes organismos a perturbações físico-químicas na coluna d'água. Armadilhas de sedimentação proporcionam um melhor entendimento da resposta destes organismos planctônicos as variações temporais na estrutura da coluna d'água, possibilitando o entendimento (ou calibração) da relação entre o fator ambiental-proxy.



O objetivo desta atividade foi examinar as variações sazonais no fluxo de organismos e composição isotópica de foraminíferos planctônicos, com o intuito de aprimorar interpretações paleoceanográficas. Para tal, foram utilizadas amostras obtidas de armadilhas de sedimentação provenientes de um fundeio oceanográfico localizado na plataforma continental, onde a coluna d'água atinge 145 metros. Duas armadilhas de sedimentação, instaladas em 50 e 100 metros de profundidade, coletaram continuamente material em sedimentação entre Novembro de 2010 e Abril de 2012, sendo cada amostra representativa da integração de 3 (Fundeio I), 5 (Fundeio III) e 7 (Fundeios II e IV) dias consecutivos. Os resultados mostram grandes variações nos fluxos de G. ruber, G. sacculifer, G. menardii e N. dutertrei. Devido aos curtos intervalos determinados para os tempos de integração (3-7 dias), foi possível através de uma análise espectral encontrar picos significativos de cerca de 26,5 dias para as espécies G. ruber e G. sacculifer, o que foi associado aos ciclos de reprodução sincronizados com o ciclo lunar. A composição isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$) de G. ruber e N. dutertrei, indicaram diferentes habitats para as duas espécies na coluna d'água. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ para G. ruber (branco e rosa) mostraram ampla variação (de -1,91 a -0,43‰), seguindo a variação sazonal da temperatura média medida pelo fundeio. Os valores médios de $\delta^{18}\text{O}$ para G. ruber (rosa), -1,25‰, foram maiores que os valores médios para G. ruber (branco), indicando que esta espécie registra temperaturas mais altas e, portanto deve viver em profundidades mais superficiais na coluna d'água. Estes resultados demonstram o potencial do estudo com armadilhas de sedimentação para o entendimento do cenário atual, trazendo implicações nas futuras interpretações paleoceanográficas para a região.

Para acessar os detalhes metodológicos relacionados a esta atividade:

- ***PR_Protocolo_Lab_17-11_Fundeio Fração D_Forams_Rev00***

Para acessar os dados referentes a esta atividade:

Acesse o banco de dados na mídia em anexo. Os dados encontram-se nos arquivos

- ***[BDPR]/Foraminiferos/CF10-01B.xls***
- ***[BDPR]/Foraminiferos/CF10-09A.xls***
- ***[BDPR]/Foraminiferos/Topos de boxcore_Forams.xls***
- ***[BDPR]/Foraminiferos/Fundeio_Forams.xls***

Para acessar aos produtos científicos desta atividade:

Oliveira et al., 2011. Alterações na direção de enrolamento de *Globigerinna bulloides* durante o Holoceno na região de Cabo Frio-RJ. VIII ABEQUA. Buzios, RJ. 9-14 Outubro.

Venancio et al., 2011. Oxygen isotope signatures of water masses and planktonic carbonate shells of Southeastern Brazil. AGU Fall Meeting. San Francisco, California, USA. 5-9 Dezembro.

Venancio et al., 2012. Fluxos de foraminíferos planctônicos em resposta a condições oceanográficas sazonais: resultados de fundeio oceanográfico em Cabo Frio/RJ. V Congresso Brasileiro de Oceanografia. Rio de Janeiro, BR. 13-16

Atividade Proposta #30: Análise de geoquímica isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ e δD) da água do mar.

Esta atividade foi também desenvolvida como tema da dissertação de mestrado de Igor Martins Venancio Padilha de Oliveira (CPF 103.777.327-61) a ser defendida em fevereiro de 2014 no Programa de Geoquímica Ambiental, sob a orientação da Dra. Ana Luiza Albuquerque.

A dinâmica oceanográfica de plataforma continental é o resultado da interação entre seus processos internos, como mistura advectiva, entrada de descarga continental e ressurgência costeira e os processos que acontecem nas bordas da plataforma, como por exemplo, as oscilações das correntes de contorno, os quais podem potencialmente alterar a composição isotópica da água do mar em relação ao sinal isotópico médio.

Assim, no intuito de discriminar os processos que produzem tais desvios, o objetivo desta atividade foi compreender a influência da atual dinâmica da plataforma continental ao largo de Cabo Frio na distribuição dos isótopos estáveis na coluna d'água. Para tal, foram realizadas expedições mensais ao longo do ano de 2012 na plataforma continental nas proximidades de Cabo Frio para coleta de água e análise dos isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$). Durante as coletas foram obtidos perfis de temperatura e salinidade, no intuito de identificar as diferentes massas d'água. Foram coletadas ao todo 63 amostras. As amostras foram armazenadas em frascos âmbar de 100 ml e envenenadas com uma solução de HgCl_2 para evitar atividade biológica dentro do frasco e consequentemente desvios nos valores do $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$. As análises isotópicas do oxigênio e hidrogênio foram realizadas pelo método de CRDS utilizando um Picarro (Model L2120-I) e os razão entre os isótopos de carbono foram realizadas pela técnica de IRMS em um ThermoFinnigan MAT Delta. Os resultados demonstram que com a relação entre

salinidade e $\delta^{18}\text{O}$ podemos identificar as influências das diferentes massas d'água sobre a plataforma. Sendo possível perceber uma forte componente da Água Costeira (AC) e da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), que possuem baixos valores médios de $\delta^{18}\text{O}$ (0,36‰) e salinidade, diferentemente da Água Tropical (AT) que possui os mais altos valores de ambos ($\delta^{18}\text{O}=0,98\text{‰}$; $\text{Sal.}>36,2$). O $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ por sua vez, nos permitiu observar a influência do fenômeno de ressurgência na produtividade costeira, evidenciando a dominância do processo de fracionamento biológico como modulador dos valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$. Além disso, foi possível através dos dados de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$, estimar a profundidade limite (40m) onde estes isótopos mudam seu comportamento, deixando de ser influenciados por processos que ocorrem na superfície da coluna d'água e obtendo um caráter mais conservativo. Os dados gerados por este estudo são algo novo para a região e possibilitarão uma melhor compreensão dos mecanismos geoquímicos presentes no sistema de ressurgência de Cabo Frio.

Para acessar os detalhes metodológicos relacionados a esta atividade:

PR_Protocolo Campo/Lab_01-12_Coleta e Analise Forams Pk_Rev00

Para acessar os dados referentes a esta atividade:

Acesse o banco de dados na mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

- **[BDPR]/FundeioOceanografico/WaterHunters_Isotopos.xls**

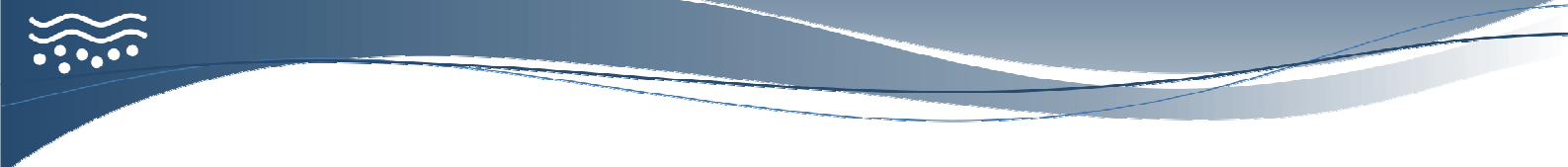
Para acessar aos produtos científicos desta atividade:

Oliveira et al., 2011. Assinaturas isotópicas de oxigênio (^{18}O) em massas d'água de Cabo Frio (RJ). IV GEOAMB. Niterói, RJ. 23-26 Novembro.

Venancio et al., 2011. Oxygen isotope signatures of water masses and planktonic carbonate shells of Southeastern Brazil. AGU Fall Meeting. San Francisco, California, USA. 5-9 Dezembro.

Venancio et al., 2012. Caracterização isotópica das massas d'água na plataforma continental de Cabo Frio / RJ. V Congresso Brasileiro de Oceanografia, Rio de Janeiro, BR. 13-16 Novembro.

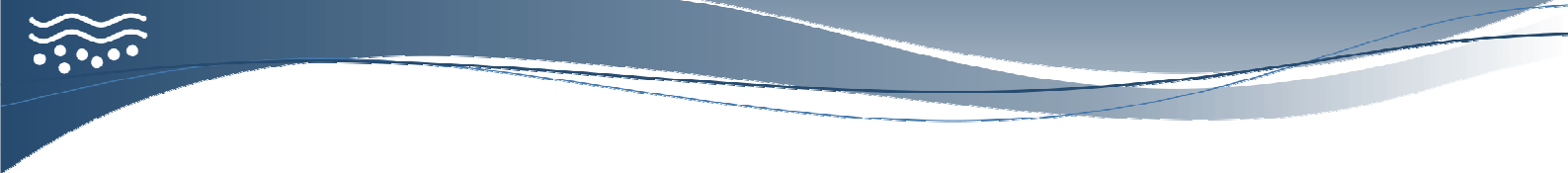
Atividade Proposta #31: Análise de metais e granulometria em amostras de “Box-cores” e fundeio.



*Esta atividade foi parte integrante da dissertação de mestrado de Manoel Antonio Moreira Ramirez (CPF 061.068.297-05) defendida em fevereiro de 2013 no Programa de Geoquímica Ambiental da UFF, sob a orientação do Dr. Wilson Thadeu Machado. Detalhes do desenvolvimento desta atividade foram informados no comentário da Atividade #28, aonde também foram informados os links para os Protocolos Analíticos. A análise dos metais avaliados nas amostras de armadilha de sedimentação seguiu o documento **PR_Protocolo_Lab_14-11_Fundeio Fracao B_Metals_Rev01**.*

O grau de piritização (Degree of Pyritization – DOP) e o grau de piritização de metais traços (Degree of Trace Metals Pyritization – DTMP), foram utilizados em quatro testemunhos de box-core ao longo da plataforma continental em conjunto com o dados de $\delta^{34}\text{CRS}$ (Atividade # 39) para a interpretação das condições redox do ambiente deposicional.

Os valores de DOP abaixo de 39% indicam que os sedimentos foram depositados sobre condições óxicas. A presença da ACAS ($T = 10\text{-}16^\circ\text{C}$, $\text{O}_2 = 3.5\text{-}6 \text{ mm.Lt}$) sobre a plataforma está relacionada ao processo de maré interna com tempo de residência curto podendo explicar as condições óxicas das camadas de fundo. Por outro lado, o conteúdo de ferro reativo ($35\text{-}140 \mu\text{mol/g}$) corresponde à fração lábil do ferro sedimentar disponível para a formação da pirita. Este conteúdo de ferro reativo em cinco ordens de grandeza maior que o ferro pirítico indica que o ferro não é limitante para a formação da pirita. A não correlação entre o DOP e COT e os valores da razão de COT/CRS acima da razão empírica para sedimentos marinhos normais (~ 2.8 ; Atividade # 39) indicam que o TOC não é o fator limitante para a formação da pirita, sendo que o S seria o fator limitante, podendo ser explicados pela re-oxidação do H_2S causada por bioturbação visualmente evidente nos testemunhos ou pela presença das baterias sulfeto oxidantes (Figura 22). O DOP e os DTMPs em todas as estações, correlacionaram com os valores de $\delta^{34}\text{CRS}$ ($\text{Pb} > \text{Fe} > \text{As} > \text{Mn} > \text{Cd}$), enquanto a piritização do Zn e Cu apresentou correlações com o $\delta^{34}\text{CRS}$ apenas nas estações de 4 e 9. As estações 1 e 4 apresentaram os sedimentos mais antigos amostrados (considerando as taxas de sedimentação baseadas na datação de ^{210}Pb e $^{239+240}\text{Pu}$, Atividade # 27), indicando um limiar aparente para a intensa re-oxidação da pirita. Enquanto a concentração do CRS aumenta com a profundidade (Atividade # 39), a composição isotópica se torna mais empobrecido em ^{34}S com o aumento da profundidade, valores menores e menos variáveis de $\delta^{34}\text{SCRS}$ ocorreram quando o conteúdo de CRS excedeu $\sim 0,1\%$, correspondendo a valores médios de $\delta^{34}\text{SCRS}$ de $-40\text{‰} \pm 1\text{‰}$, (Figura 23). Após este limiar aparente, os valores do DTMP 54 tiveram incremento acentuado para Pb, As, Cd,



Mn e Zn na estação 1, onde a estabilidade da pirita foi evidenciado de forma mais consistente (Figura 21). Incrementos semelhantes no grau de piritização foram observados para Fe e Pb, ainda sob contínua re-oxidação (estações 4 e 9), o que sugere a proximidade a condições mais estáveis. As profundidades nas quais a re-oxidação foi menos intensa foram variáveis, sendo postulado que este efeito re-oxidação foi compensado por níveis relativamente elevados de CRS, o que não foi necessariamente dependente da profundidade.



Foto 14 Detalhe da oxidação de sedimentos causada pela bioturbação.

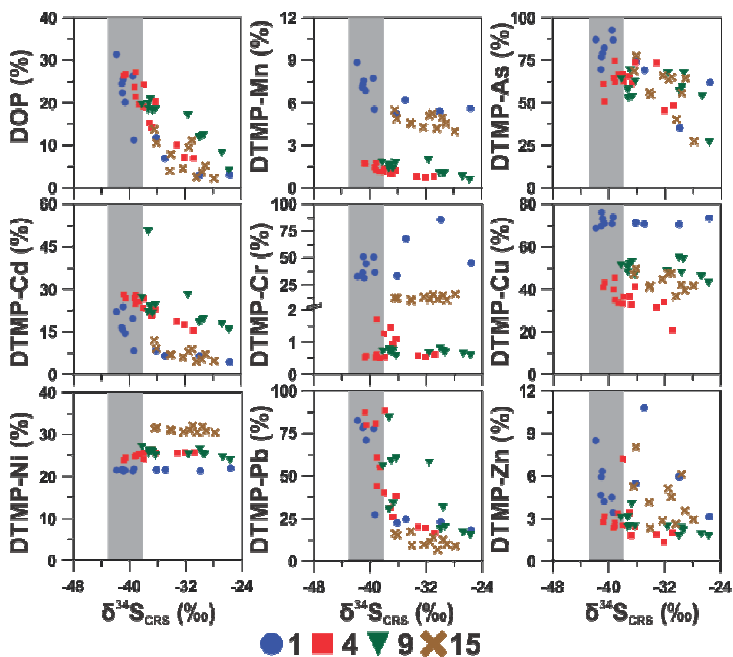


Figura 21 Relação do grau de piritização (DOP) e grau de piritização de metal-traço (DTMP) contra $\delta^{34}\text{SCRS}$. A área sombreada corresponde ao intervalo de dados $\delta^{34}\text{SCRS}$ inferiores ao limiar aparente de continuação re-oxidação, como indicado na Atividade # 39.

Para acessar os dados referentes a esta atividade:

Acesse o banco de dados na mídia em anexo. Os dados encontram-se nos arquivos

- [BDPR]/TestemunhosCurtos/Granulometria BCCF.xls

- [BDPR]/TestemunhosCurtos/Metais_BCCF_totais.xls
- [BDPR]/TestemunhosCurtos/Série Exofre Boxcorer.xls

Para acessar aos produtos científicos desta atividade:

Moreira et al., 2011. Geoquímica de ferro e manganês associados à pirita em sedimentos recentes da região de ressurgência costeira de Cabo Frio (Rio de Janeiro). XIV COLACMAR. Camboriú, SC. 31 Outubro – 4 Novembro.

Moreira et al., 2011. Geoquímica de metais associados à pirita em sedimentos recentes da região de ressurgência costeira de Cabo Frio (Rio de Janeiro). IV GEOAMB. Niterói, RJ. 23-26 Novembro.

Moreira et al., 2012. Geoquímica de elementos traços associados à pirita em sedimentos do sistema ressurgência costeira de Cabo Frio (Rio de Janeiro). 46º Congresso Brasileiro de Geologia. Santos, SP. 30 Setembro – 5 Outubro.

Moreira et al. 2012. Avaliação do fracionamento geoquímico de elementos traços como registro sedimentar da produtividade primária no sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ). V GEOAMB. Niterói, RJ. 27-30 Novembro.

Moreira et al., 2012. Piritização de metais traços em sedimentos marinhos submetidos à intensa re-oxidação: o estudo de caso do sistema de ressurgência de Cabo Frio. Prêmio Petrobras de Tecnologia, 6ta Edição. Em submissão.

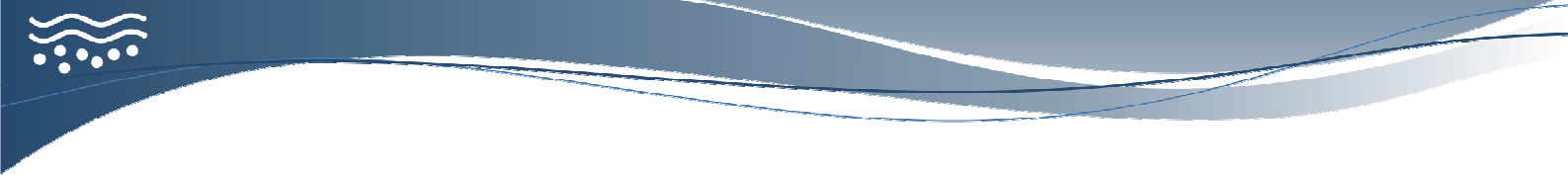
Moreira et al., 2013. Piritização de elementos-traço em sedimentos do sistema de ressurgência de Cabo Frio (Rio de Janeiro). Tese de Mestrado. Departamento de Geoquímica, UFF. 80 pp.

Moreira et al. Trace element pyritization in sediments of a tropical upwelling system under the impact of the intense re-oxidation. Chemical Geology. In submission.

Atividade Proposta #32: Análise de geoquímica orgânica elementar (COT, NT), isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) e alquenonas na matéria orgânica dos sedimentos da interface água-sedimento (“Box-cores”)

Esta atividade faz parte do desenvolvimento da monografia de graduação, a ser defendida em maio de 2013, do aluno Bernardo Rolim Rangel (CPF 131.119.507-60) regularmente matriculado no curso de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sob a supervisão da Dra. Ana Luiza Albuquerque.

Para esta atividade, ainda em fase de finalização, foram realizadas análises sobre 13 top-cores coletados na plataforma continental. Os resultados mostraram que existe



uma diferenciação na temperatura reconstituída ao longo da plataforma, o que reflete o papel dos diferentes mecanismos oceanográficos que atuam sobre as porções interna, média e externa da plataforma sobre a deposição das alquenonas.

Os dados do índice U'_{37} -TSM (que reflete a Temperatura da Superfície do Mar – TSM) das amostras de sedimentos superficiais (top-cores) coletadas na plataforma continental de Cabo Frio foram correlacionados com dados satelitais do AVHRR/3, os quais correspondem as médias sazonais de TSM para região nos últimos cinco anos (Figura 22). Nenhuma correlação foi observada ao longo das quatro estações do ano, indicando que a deposição das alquenonas não responde a sazonalidade no Sistema de Ressurgência de Cabo Frio.

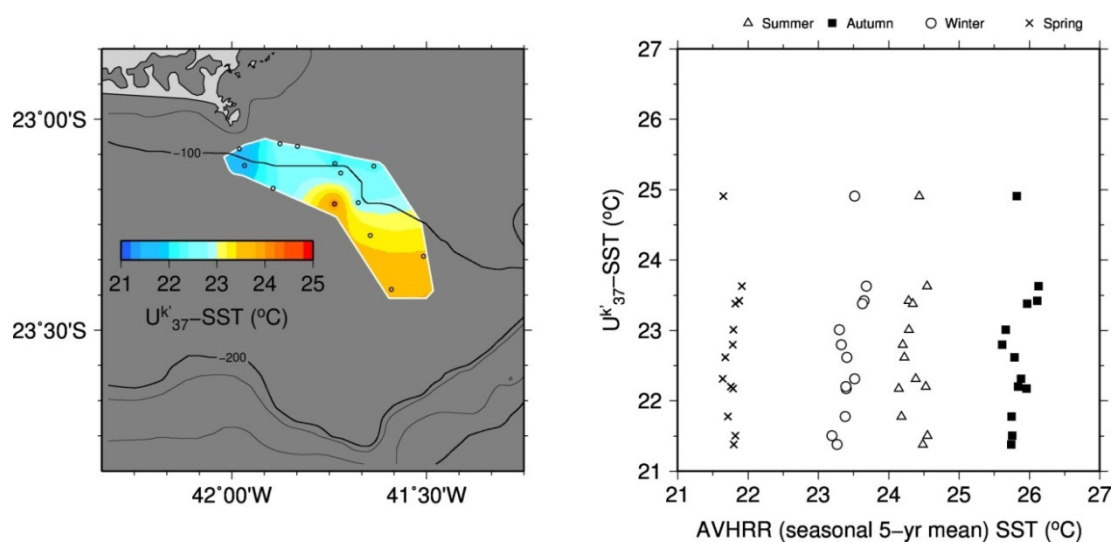


Figura 22 Direita – Distribuição dos valores de temperatura da superfície do mar (SST, do inglês Sea Surface Temperature) calculada através do índice U'_{37} . Os pontos representam os topos de testemunhos analisados.
Esquerda – Comparação dos valores de temperatura

Para acessar os detalhes metodológicos relacionados à esta atividade:

- [PR_Protocolo Lab_02-12_Biomarcadores Moleculares Orgânicos_Rev01](#)

Para acessar os dados referentes a esta atividade:

Acesse o banco de dados no mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

- [\[BDPR\]/TestemunhosCurtos/Alquenonas_BCCF.xls](#)
- [\[BDPR\]/TestemunhosCurtos/BULK_Boxcore.xls](#)

Para acessar aos produtos científicos desta atividade:

Rangel et al., 2010. O uso de alquenonas como biomarcadores de temperatura da superfície do mar no passado na ressurgência de Cabo Frio. III GEOAMB, Niterói, RJ. 1-3 Dezembro.

Rangel et al., 2011. O uso de ligninas para determinação da distribuição de matéria orgânica terrígena na plataforma continental de Cabo Frio. IV GEOAMB, Niterói, RJ. 23-26 Novembro.

Rangel et al., 2011. Land-derived organic matter distribution in Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazilian shelf. AGU Fall Meeting. San Francisco, California, USA. 5-9 Dezembro.

Cordeiro et al., 2012. Land-derived organic matter distribution in Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazilian shelf. XIII ALAGO, Santa Marta, Colombia. 12-15 Novembro.

Mello et al., 2012. Influência da matéria orgânica terrestre na plataforma continental de Cabo Frio, RJ-Brasil. XIII ALAGO, Santa Marta, Colombia. 12-15 Novembro.

Rangel et al., 2012. Variabilidade espaço-temporal da temperatura da superfície do mar na plataforma continental de Cabo Frio nos últimos 200 anos. V Congresso Brasileiro de Oceanografia. Rio de Janeiro, BR. 13-16 Novembro.

Mello et al., 2012. Influência da matéria orgânica terrestre na plataforma continental de Cabo Frio, RJ-Brasil. V GEOAMB. Niterói, RJ. 27-30 Novembro.

Rangel et al., 2012. Variabilidade espaço-temporal da temperatura da superfície do mar na plataforma continental de Cabo Frio nos últimos 200 anos. V GEOAMB. Niterói, RJ. 27-30 Novembro.

Atividade Proposta #33: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa, visando ajustes e re-planejamento de atividades

Reuniões gerenciais do projeto ocorreram com frequência semestral com toda a equipe do fixa do projeto (coordenação e pesquisadores contratados) e tiveram como objetivo principal a checagem do cronograma de execução das atividades programadas e reposicionamentos estratégicos, em caso de necessidade.

Atividade Proposta #34: Contato com pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM-Marinha do Brasil) e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos, visando à cooperação técnica-científica e apoio logístico para o acompanhamento dos experimentos em mar.

Ver descrição na Atividade #1

Atividade Proposta #35: Levantamento bibliográfico, síntese e análise crítica de dados

Ver descrição na Atividade #2

Atividade Proposta #36: Manobras periódicas de instalação/recuperação do fundeio, como também a manutenção de equipamentos eletrônicos (armadilhas de sedimentação, sensores) e componentes mecânicos da linha do fundeio

A partir de novembro de 2010, quando o fundeio oceanográfico foi instalado pela primeira vez, conforme descrito na Atividade #18, foram realizadas a cada 90-120 dias manobras para recuperação e re-instalação do fundeio oceanográfico. A cada manobra, os equipamentos passaram por limpeza devido a incrustação (Foto 15), download dos dados, manutenção de partes, substituição de baterias e re-programação (Foto 16) para o novo experimento de fundeio. Ao longo do projeto, foram realizados 6 experimentos de fundeio, totalizando cerca de 800 dias de medidas oceanográficas e coleta de particulados para análises geoquímicas.



Foto 15 Imagens que ilustram o grau de incrustação sofrido pelos equipamentos do fundeio oceanográfico (armadilha de sedimentação e boia superficial) e a limpeza necessária a cada manobra de recuperação e reinstalação.

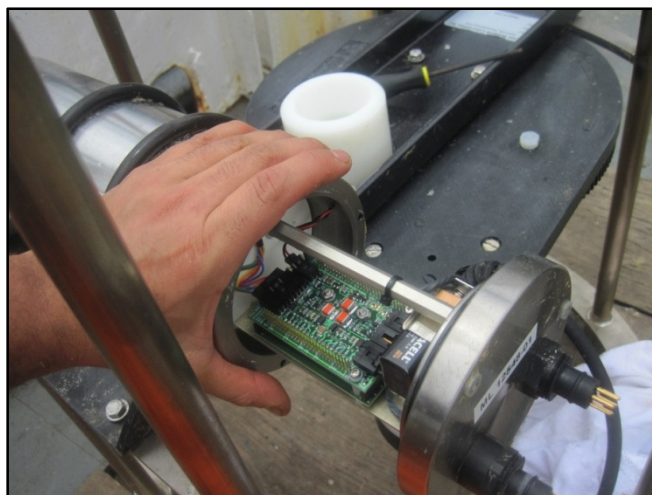
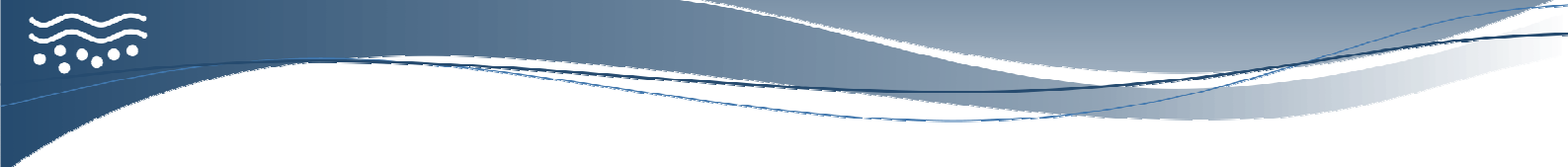


Foto 16 Manutenção dos componentes eletrônicos dos equipamentos oceanográficos.

Para acessar os dados referentes a esta atividade:

Acesse o banco de dados no mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

- *[BDPR]/FundeioOceanografico/Fundeio_dadosMaterialParticulado.xls*
- *[BDPR]/FundeioOceanografico/DadosFísicos (dados em arquivos .DAT)*

Para acessar aos produtos científicos desta atividade:

Botero et al., 2010. Contribuição de pelotas fecais de copépodos para o fluxo de material particulado em armadilhas e na coluna de água em Cabo Frio, RJ. III GEOAMB. Niterói, RJ. 1-3 Dezembro.

Zuluaga et al., 2011. Resultados preliminares das relações entre o fluxo de partículas, a estrutura oceanográfica e as condições climáticas atuais da plataforma continental brasileira ao longo de Cabo Frio. XIV COLACMAR. Camboriú, SC. 31 Outubro – 4 Novembro.

Botero et al., 2011. Resultados preliminares da contribuição das pelotas fecais de zooplâncton para o fluxo vertical de material particulado e "swimmers" nas armadilhas de sedimento na região de Cabo Frio, RJ. IV GEOAMB. Niterói, RJ. 23-26 Novembro.

Zuluaga et al., 2011. Fluxo vertical de matéria particulada na borda da plataforma de Cabo Frio (Rio de Janeiro). IV GEOAMB. Niterói, RJ. 23-26 Novembro.

Belem et al., 2011. Variability along- and across-shelf currents and its influence on total particle flux in the Southeastern Brazilian shelf. AGU Fall Meeting, San Francisco, California, USA. 5-9 Dezembro.

Zuluaga, 2012. Composição biogênica e fluxos do material particulado na plataforma continental de Cabo Frio, Brasil: experimentos com armadilhas de sedimento

durante fundeios da primavera de 2010 e outono de 2011. Tese de Mestrado. Departamento de Geoquímica, UFF. 128 pp.

Zuluaga et al., 2012. Composição e fluxo de material particulado na plataforma continental brasileira ao largo de Cabo Frio, influência continental e fluxos advectivos: experimento com armadilhas de sedimentos. V Congresso Brasileiro de Oceanografia. Rio de Janeiro, BR. 13-16 Novembro.

Botero et al., 2012. Contribuição das pelotas fecais de zooplâncton para o fluxo vertical de material particulado e a interferência de "swimmers" nas armadilhas na região de ressurgência de Cabo Frio (RJ). V Congresso Brasileiro de Oceanografia. Rio de Janeiro, BR. 13-16 Novembro.

Botero, 2013. Fluxo de carbono de zooplâncton e pelotas fecais coletados com armadilhas de sedimentação do sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ). Tese de Mestrado. Departamento de Geoquímica, UFF. 82 pp.

Belem et al., 2013. Control of subsurface temperature variability in a western boundary upwelling system. Geophysical Research Letter. No prelo.

Albuquerque et al. Particle fluxes of the Cabo Frio upwelling system, Southeast Brazil: Part II - Bulk characterization of sediment trap particles during spring and autumn. Anais da Academia Brasileira de Ciência. Submetido.

Albuquerque et al. Physical and geochemical coupling in particulate matter fluxes on mooring and sediment trap observations on the Southeastern Brazilian shelf. Continental Shelf Research. Special Issue. Submetido.

Atividade Proposta #37: Abertura e descrição dos testemunhos longos ("Kullenberg")

Os testemunhos longos (kullenbergs) foram seccionados a cada 1 metro em campo (a bordo do navio) para facilitar o transporte dos sedimentos. No laboratório as sessões foram seccionadas transversalmente com o uso de uma serra elétrica circular. Com os sedimentos expostos, houve a descrição das fácies sedimentares e posterior subamostragem com resolução de 1 cm. As subamostras foram pesadas e armazenadas em sacos plásticos, devidamente identificados sob-refrigeração a 4 °C.

Para acessar os detalhes metodológicos relacionados a esta atividade:

- ***PR_Protocolo Campo_01-11_Corte e rotulagem de testemunhos Kull_Rev01***

Atividade Proposta #38: Datação de amostras dos testemunhos longos e elaboração de modelo geocronológico

Os testemunhos longos (kullenbergs) foram datados através da técnica do ^{14}C -AMS, para o qual as amostras de sedimentos foram enviadas para o laboratório NSF Isotope Facilities da University of Arizona – EUA. Foram realizadas 120 datações nos 12 testemunhos estudados. As idades ^{14}C foram posteriormente calibradas para idades calendário, considerando um efeito reservatório global ($R=400$ anos) e um desvio ($\Delta R = 17 \pm 8$), e o pico da probabilidade no nível de confiança de 2 sigma (94,6%). Depois de calibradas, as idades de cada testemunho foram testadas para definição da melhor função de interpolação de idades. Na maior parte dos casos, utilizaram-se modelos de idade baseados em estatística Bayesiana (Figura 23, exemplo das interpolações de idade).

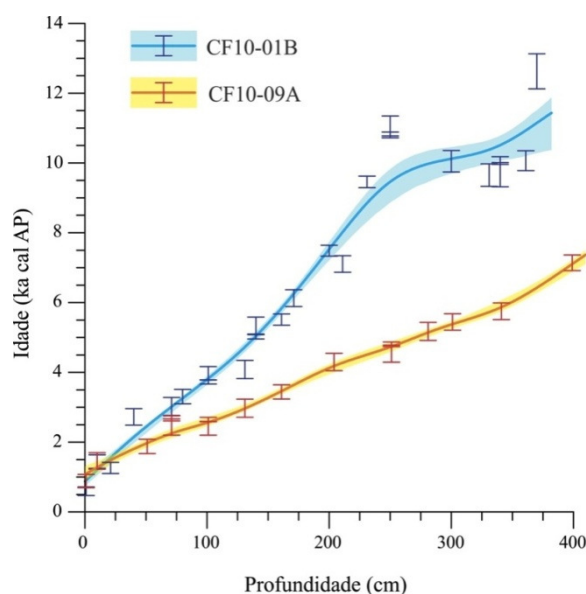


Figura 23 Interpolação Bayesiana de idade (Modelo Geocronológico) para os testemunhos CF10-01 e CF10-09, coletados respectivamente na borda e no meio da plataforma continental de Cabo Frio. Os pontos com os erros, representam as datações e as curvas, a interpolação.

Para acessar os dados obtidos nesta atividade:

Acesse o banco de dados na mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

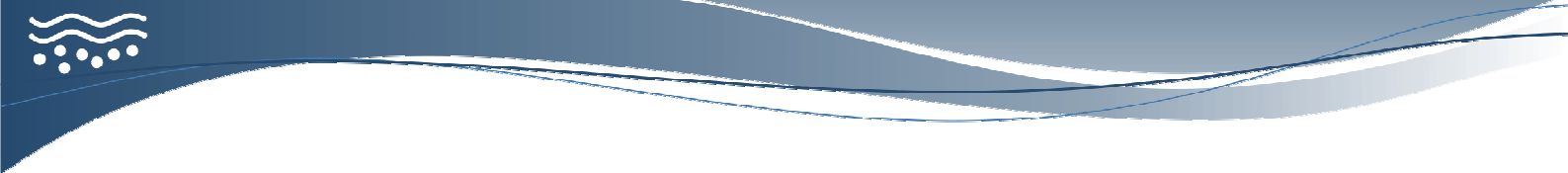
- [BDPR]/Geocronologia/Geocronologia_14C.xls

Atividade Proposta #39: Análise da especiação do enxofre (S total, S orgânico, DOP, AVS, CRS, $\delta^{34}\text{S}$, H_2S) (“Box-corers”)

Esta atividade foi desenvolvida como tema da dissertação de mestrado da aluna Rut Amelia Díaz Ramos (CPF 061.068.317-93), defendida em fevereiro de 2012 no Programa de Geoquímica Ambiental da UFF, sob a orientação da Dra. Ana Luiza Albuquerque. Detalhes do desenvolvimento desta atividade foram informados no comentário da Atividade #28, aonde também foram informados os links para os Protocolos Analíticos. A Pirita (FeS_2) sedimentar tem sido considerada o maior sumidouro de enxofre (S) reduzido em ambientes sedimentares. As espécies inorgânicas do S, operacionalmente definidas como AVS (Acid Volatil Sulfide) ($\text{FeS} + \text{H}_2\text{S}$ remanescente na água intersticial) e CRS (Chromium Reducible Sulfur)(principalmente $\text{FeS}_2 + \text{S}^0$) foram analisadas em quatro testemunhos de box-core ao longo da plataforma continental para a interpretação das condições redox do ambiente deposicional.

Os valores de ST (0.08-0.46%) e CRS (0.05-0.3%) são relativamente baixos e mostram aumento com a profundidade em todas as estações (Figura 24 B, C). Esta tendência de acumulação de pirita com a profundidade é esperada devido à decomposição microbiana da matéria orgânica via sulfato redução levando à produção de H_2S e subsequentemente sulfeto de ferro. Por outro lado, os processos de oxidação resultam em baixos teores de ST e CRS, principalmente no perfil distal da plataforma (perfil 1), o qual está situado em uma área de intensa atividade de vórtices e meandros da Corrente do Brasil (CB). Os perfis da porção mediana da plataforma (perfis 4 e 9) apresentam as maiores concentrações de COT (Figura 24 A) e ST, o que demonstram o acúmulo do material orgânico como resultado direto do regime hidrodinâmico local, em especial devido a presença quase constante da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) sobre a plataforma, como também pelo efeito da formação de vórtices e meandros.

As concentrações essencialmente constantes do sulfato (SO_4^{2-}) na água intersticial (perfis 1,9,15) indicam baixas taxas de sulfato redução, apoiadas pelos níveis não detectáveis ($<1 \mu\text{M}$) de H_2S encontrados em todas as amostras da água intersticial. O AVS abaixo do limite de detecção na maioria das amostras e com baixas concentrações $\leq 0.01\%$ aponta que o AVS foi re-oxidado e/ou transformado em pirita. A composição isotópica da pirita é principalmente controlada pela discriminação isotópica que acontece durante a sulfato-reduçãodissimilatória. No SRCF a composição isotópica do sulfato na água intersticial (+20.8 e +22‰) não apresenta fracionamento isotópico em comparação à água do mar, indicando baixas taxas de consumo do sulfato



em comparação a uma rápida reposição via difusão e/ou a re-oxidação de sulfeto em um ambiente aberto (Figura 24E). A formação de pirita nos sedimentos do SRCF está associada a uma discriminação isotópica de 46 a 60‰ com respeito ao sulfato da água intersticial. Um alto fracionamento excedendo 47‰ tem sido explicado por múltiplos ciclos oxidativos das espécies reduzidas de S. Este conceito requerendo um contínuo suprimento de oxidantes pode ser idealmente realizado no SRCF. Portanto o cenário do SRCF possibilita testar modelos anteriores sobre a relação entre a intensa ciclagem do S e o fracionamento isotópico. Cabe ressaltar que a ciclagem do S sobre o impacto de uma intensa bioturbação e mineralização aeróbica no SRCF leva a composições isotópicas semelhantes às encontradas no sistema de ressurgência de Chile ou sedimentos euxínicos baixo redoxiclinas de colunas de água e com intensa atividade de sulfato redução.

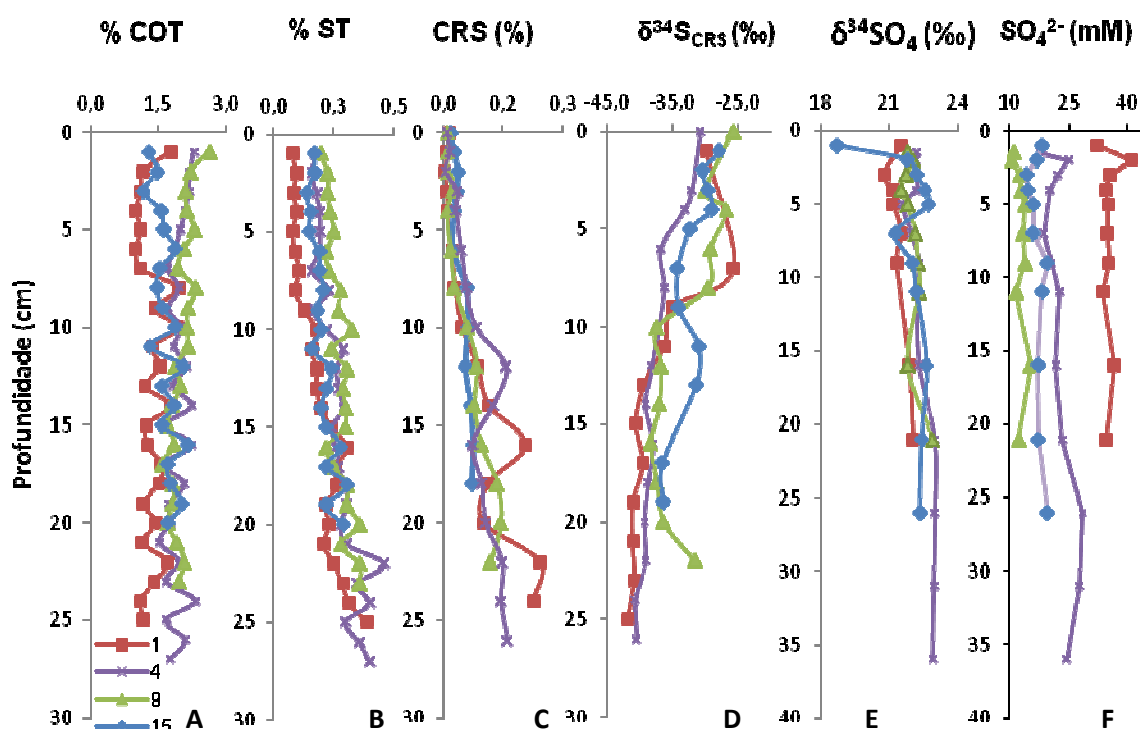


Figura 24 (A) Concentração de carbono orgânico total (COT); (B) Concentração de enxofre total (ST); (C) Concentração de Chromium Reducible Sulfur (CRS); (D) Composição isotópica do Chromium Reducible Sulfur ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CRS}}$); (E) Composição isotópica do sulfato da água intersticial ($\delta^{34}\text{SO}_4^{2-}$); (F) Concentração do sulfato (SO_4^{2-}) nos perfis sedimentares curtos do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio.

Para acessar os dados referentes a esta atividade:

Acesse o banco de dados no mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

- [BDPR]/TestemunhosCurto/Série Enxofre Boxcorer.xls

Para acessar aos produtos científicos desta atividade:

Diaz et al., 2010. Geoquímica sedimentar do enxofre como registro paleoambiental do processo de ressurgência em Cabo Frio (RJ). III GEOAMB, Niterói, RJ. 1-3 Dezembro.

Diaz et al., 2011. Carbono e enxofre em sedimentos marinhos de Cabo Frio. XIV COLACMAR. Camboriú, SC. 31 Outubro – 4 Novembro.

Diaz et al., 2011. Geoquímica sedimentar do enxofre em sedimentos marinhos de Cabo Frio (RJ). IV GEOAMB. Niterói, RJ. 23-26 Novembro.

Diaz, R. 2012. Geoquímica do enxofre e morfologia da pirita em sedimentos do sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ). Tese de Mestrado. Departamento de Geoquímica, UFF. 122 pp.

Diaz et al., 2012. Geoquímica elementar e isotópica do enxofre em sedimentos marinhos do sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ). 46º Congresso Brasileiro de Geologia. Santos, SP. 30 Setembro – 5 Outubro.

Diaz et al., 2012. Early diagenesis of sulfur in a tropical upwelling system: Cabo Frio, Southeastern Brazil. *Geology*. October 40(10): 879-882.

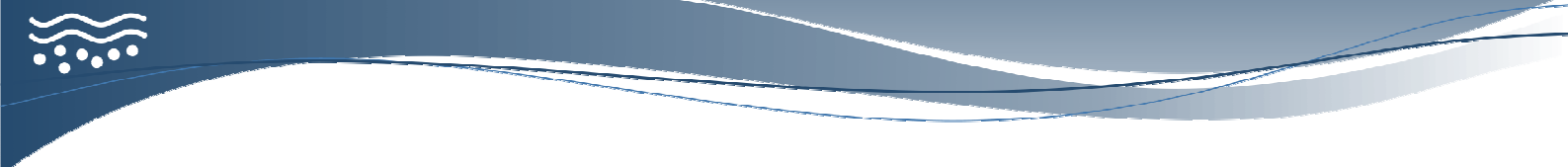
Diaz et al., 2012. Geoquímica inorgânica e orgânica do enxofre em sedimentos holocênicos do sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ) V GEOAMB, Niterói, RJ. 27-30 Novembro.

Diaz et al., 2012. Diagênese do enxofre em sedimentos marinhos entre as Bacias de Campos e Santos.

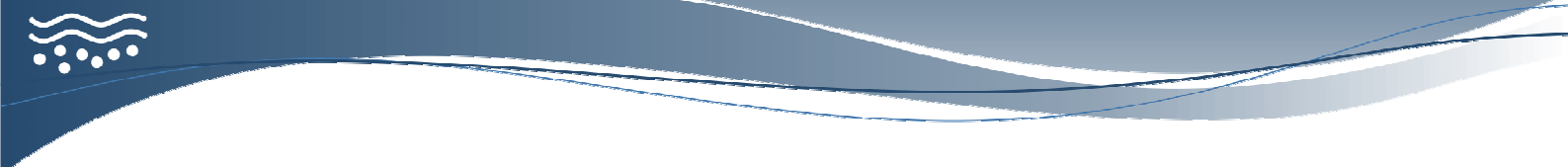
Atividade Proposta #40: Determinação da assembléia de foraminíferos planctônicos, geoquímica elementar (Mg/Ca, Sr/Ca) e isotópica ($\delta^{18}\text{O}$) nos carbonatos biogênicos das espécies *G. bulloides* e *G. ruber* em amostras de “Kullenberg” e fundeio.

Esta atividade foi realizada como tema da tese de doutorado de Douglas de Oliveira Lessa (CPF 106.089.617-60) a ser defendida no Programa de Geoquímica Ambiental, sob a orientação da Profa. Ana Luiza Albuquerque.

Esta atividade teve como objetivo principal o uso destas ferramentas geoquímicas para reconstruir a paleoceanografia do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio (SRCF) ao longo dos últimos 12.000 anos, recuperados pelos testemunhos kullenbergs. Para isso, 34 topos de box-cores englobando o SRCF e as áreas adjacentes nas bacias de Santos e Campos e dois testemunhos a gravidade foram usados. O



agrupamento das assembleias na Margem Continental do Rio de Janeiro (MCRJ) indicou a ocorrência de quatro principais biofácies espacialmente bem-separadas: biofácie A - talude da bacia de Campos (contribuição de espécies tropicais e subtropicais caracterizando a frente da Corrente do Brasil, CB), biofácie B - bacia de Santos (maiores contribuições de espécies relacionadas à produtividade, caracterizando sinal de mistura de massas de água costeiras produtivas e oceânicas oligotróficas), biofácie C – setor norte do SRCF (contribuições de *G. ruber* e *Globigerina bulloides*, caracterizando ambiente de ressurgência com frequentes atenuações por águas quentes) e a biofácie D – setor sul do SRCF (contribuição de espécies indicadoras de águas frias e produtivas, caracterizando uma configuração influenciada pela ressurgência Ekman). Além disso, a distribuição espacial de *Globoturborotalita rubescens* revelou preferência desta espécie por águas de plataforma continental e *Globigerinella calida* sendo associada a pós-ressurgência. Os testemunhos CF10-01B (mais distante da costa) e CF10-09A (mais próximo da costa) cobrem os últimos 11,5 e 7,1 ka cal, respectivamente sendo o primeiro mais influenciado pela Corrente do Brasil, expressando um sinal mais fraco da ressurgência que o segundo. Os resultados da razão Mg/Ca obtidos pelo método de ablação a laser indicaram uma heterogeneidade intra-câmara que resultou em uma incerteza de 1,49°C para reconstruções com *G. ruber* e 0,6°C para *G. bulloides*, assim como amplitudes individuais de 3,0 a 4,0 mmol/mol para *G. ruber* e de 3,0 a 5,0 mmol/mol para *G. bulloides* e diferenças significativas entre a última câmara (f) e as anteriores (f-1 e f-2) para as duas espécies. Tais efeitos foram associados ao efeito vital de simbiontes, a grande amplitude de temperatura existente sazonalmente no SRCF e a migração das espécies para águas mais profundas durante a reprodução. As razões Mg/Ca geradas pelo método clássico foram mais altas que as razões Mg/Ca reconstruídas por La-ICP-MS, apresentando uma variabilidade semelhante quando comparamos com a média para as câmaras f-1 e f-2, ambos os métodos condizem na reconstrução de paleotemperaturas de superfície, o que também habilitou-nos a utilizar a diferença entre as razões da câmara anteriores e final de *G. ruber* para reconstruir paleoestratificação. Entretanto, a diferente variabilidade entre a razão Mg/Ca da câmara f de *G. ruber* e a razão média de *G. bulloides* indicou possíveis sucessões sazonais, o que nos fez associar as temperaturas reconstruída por *G. bulloides* como temperaturas da camada de máximo de clorofila, podendo ser associada a intensidade da ressurgência. O período de variação do nível do mar (11,5 – 6,0 ka cal AP) foi marcado pela presença de águas frias, produtivas e homogêneas associadas possivelmente à ressurgência costeira cuja contribuição diminuiu à medida que a transgressão seguia e a



frente da CB se aproximava, alcançando um primeiro máximo entre 7,0 e 6,0 ka cal AP no ponto 1 e entre 6,0 e 5,5 ka cal AP no ponto 9, marcado por águas quentes na superfície e frias na subsuperfície. Entre 5,5 e 3,5 ka cal AP, a ressurgência gradualmente se intensifica com maiores efeitos próximo a costa e mais restrita a subsuperfície na porção distal, assim como a influência costeira a partir de 5,0 ka cal AP na porção proximal e 4,0 ka cal AP na região distal. Entre 3,5 e 2,5 ka cal AP um forte sinal de águas quentes pouco estratificadas foi observado com maior influência de águas oligotróficas no ponto 9 e mistura de águas costeiras e oceânicas no ponto 1. Após 2,5 ka cal AP, o SRCF adquire suas configurações atuais marcadas por eventos intensos de ressurgência na porção proximal da plataforma e mais restritos a subsuperfície na porção distal.

Para acessar os detalhes dos protocolos analíticos utilizados nesta atividade:

- ***PR_Protocolo_Lab_17-11_Fundeio Fração D_Forams_Rev00***

Para acessar os dados:

Acesse o banco de dados no mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

- ***[BDPR]/Foraminiferos/CF10-01B e CF10-09A_Isotopos bulloides.xls***
- ***[BDPR]/Foraminiferos/CF10-01B e CF10-09A_Isotopos ruber branco.xls***
- ***[BDPR]/Foraminiferos/CF10-01B_metalis.xls***
- ***[BDPR]/Foraminiferos/Forams_Kullenberg.xls***
- ***[BDPR]/Foraminiferos/Fundeio_Forams.xls***

Para acessar os produtos científicos:

Lessa et al., 2011. Foraminíferos planctônicos e sedimentologia de Cabo Frio-RJ nos últimos 13.000 anos Cal - Implicações para paleoressurgência e variações do nível do mar. VIII ABEQUA. Buzios, RJ. 9-14 Outubro.

Lessa et al., 2011. Foraminíferos planctônicos em sedimentos recentes da área de fronteira das Bacias de Santos e Campos: associações com a circulação costeiro-oceânica e estudos paleoambientais. IV GEOAMB, Niterói, RJ. 23-26 Novembro.

Lessa et al., 2012. Caracterização paleoceanográfica e paleoclimática holocênica da região de Cabo Frio (RJ) através de assembleias e isótopos estáveis de foraminíferos planctônicos. V GEOAMB. Niterói, RJ. 27-30 Novembro.

Lessa et al., 2012. Biofácies de foraminíferos planctônicos entre as Bacias de Santos e Campos como base para as interpretações paleoambientais. Prêmio Petrobras de Tecnología 6ta Edição.

Lessa, 2013. Paleoceanografia de sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ) nos últimos 12.000 anos inferida por foraminíferos planctônicos. Tese de Doutorado, Departamento de Geoquímica, UFF. Em Finalização.

Lessa et al. Planktonic foraminifera in southeastern Brazilian margin sediments: a biofacies model designed for paleoenvironmental applications. Marine Micropaleontology. Submetido.

Atividade Proposta #41: Análise de geoquímica isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ e δD) da água do mar.

Ver descrição na Atividade #30

Atividade Proposta #42: Análise de metais e granulometria em amostras de testemunhos longos (“Kullenberg”).

Esta atividade foi, de fato, realizada sobre testemunhos coletados no ano de 2002 e 2010. Análises de granulometria dos testemunhos kullenbergs coletados em 2010 e do conteúdo total de metais foram realizadas no testemunho coletado em 2002.

O conteúdo de metais, avaliado nesta atividade, foi utilizado para avaliar as mudanças nos aportes e deposição de sedimentos para a plataforma continental ao largo de Cabo Frio ao longo dos últimos 13.600 anos cal AP. A análises de metais e mineralógicas identificou duas unidades litológicas. Mudanças nos teores de elementos traços nestas unidades litológicas revelaram uma sucessão de mudanças paleoambientais que impactaram a entrega de sedimentos e acumulação na região. Os resultados sugerem que as condições deposicionais foram alterados a partir de um ambiente de alta energia sob a forte influência da condição de baixo (lowstand) nível do mar (antes de 8.900 anos cal AP), para condições indicativas de estabilização do nível do mar em 8.300 anos cal AP. A região da plataforma continental tornou-se, então, um ambiente de baixa energia que persiste até os tempos modernos. Apesar da sua proximidade com a alta produtividade associada ao sistema de ressurgência costeira de Cabo Frio, os sedimentos permaneceram suficientemente oxigenado para inibir a deposição de metais redox-sensíveis. As variações nos metais-traços podem, portanto,

ser utilizados como prova de alterações de aportes para os sedimentos. Concentrações elevadas e taxas de acúmulo de U e Mo, que correspondem a episódios de aumento das chuvas que são registradas em espeleotemas da região sudeste do Brasil, indicam a importância dos processos de erosão eo transporte fluvial para a região.

Para acessar o produto científico relativo a esta atividade:

Mendoza, U.; P. Meyers; B. Turcq; A. Siffeddine; M.H.C. Gurgel; M.M. Andrade; R. Capilla; A.L.S. Albuquerque; 2013. Trace metal indicators of changes in sediment delivery and depositin under the cabo Frio upwelling system, Brazil. Continental Shelf Research. Submetido.

Para acessar os dados:

Acesse o banco de dados no mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

- [\[BDPR\]/TestemunhosLongos/Granulometria CF.xls](#)

Atividade Proposta #43: Análise de geoquímica orgânica elementar (COT, NT), isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) dos sedimentos de testemunhos longos (“kullenberg”)

Análises da geoquímica “bulk”, ou seja, dos teores de carbono orgânico, nitrogênio total e seus isótopos estáveis foram realizadas em todos os quatro testemunhos estudados na plataforma continental. Da mesma forma que com as amostras de sedimento dos box-cores, as análises de COT, NT e dos isótopos estáveis foram executadas em laboratório contratado (Stable Isotope Facility - UC Davis, University of California - EUA), seguindo seu protocolo de análises.

Para acessar os Protocolos Analíticos :

- [PR_Protocolo Lab_03-11_Descarbonatação Sedimentos_Rev02](#)

Para acessar os dados desta atividade:

Acesse o banco de dados no mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

- [\[BDPR\]/TestemunhosLongos/BULK_Kullenberg_DadosValidados.xls](#)

Atividade Proposta #44: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa, visando ajustes e re-planejamento de atividades

Reuniões gerenciais do projeto ocorreram com frequência semestral com toda a equipe do fixa do projeto (coordenação e pesquisadores contratados) e tiveram como objetivo principal a checagem do cronograma de execução das atividades programadas e reposicionamentos estratégicos, em caso de necessidade.

Atividade Proposta #45: Elaboração de relatório parcial integrado.

No segundo ano de execução do Projeto Ressurgência-UFF foi apresentado relatório parcial de atividades em agosto de 2011.

Atividade Proposta #46: Contato com pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM-Marinha do Brasil) e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos, visando a cooperação técnica-científica e apoio logístico para o acompanhamento dos experimentos em mar.

Ver descrição na Atividade #1.

Atividade Proposta #47: Levantamento bibliográfico, síntese e análise crítica de dados.

Ver descrição na Atividade #2.

Atividade Proposta #48: Manobras finais de instalação/recuperação do fundeio, como também a manutenção de equipamentos eletrônicos (armadilhas de sedimentação, sensores) e componentes mecânicos da linha do fundeio.

Ver descrição na Atividade #36.

Atividade Proposta #49: Finalização das análises de geoquímica inorgânica/isotópica (S total, S orgânico, DOP, AVS, CRS, $\delta^{34}\text{S}$, H_2S , metais, granulometria) e orgânica/isotópica (COT, NT, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, alquenonas) nos sedimentos de testemunhos longos (“Kullenberg”).

A atividade relacionada a especiação inorgânica do enxofre nos testemunhos longos está sendo desenvolvida como tema da dissertação de doutorado da aluna Rut Amelia Díaz Ramos (CPF 061.068.317-93), iniciado em março de 2012 no Programa de Geoquímica Ambiental da UFF, sob a orientação da Dra. Ana Luiza Albuquerque.

Nos testemunhos longos o COT variou entre 0,3 e 2,8%, apresentando tendência geral de diminuição com a profundidade, encontrando as menores concentrações nos perfis 1 e 15 (Figura 27-A). O ST variou entre 0,08 e 0,8% (Figura 27-B). O AVS não foi detectado nas amostras, a ausência deste pode indicar que o FeS produzido é oxidado ou pode estar formando pirita. Os teores de CRS variam entre 0,03 e 0,53% (Figura 27-C). Os teores de S na somatória de AVS e CRS são menores que o ST, o que indica que o S pode estar associado na MO em forma de S orgânico.

A composição isotópica do sulfato nos oceanos do mundo é de aproximadamente +21‰, enquanto a composição isotópica do sulfato da água intersticial nos sedimentos de Cabo Frio apresenta uma média de $+23,1 \pm 1,10\text{‰}$ (Figura 27-D). Este resultado mostra não haver enriquecimento aparente do ^{34}S com a profundidade, nem um alto grau de fracionamento isotópico indicativo de baixas taxas de sulfato redução (SR), como também de processos de fracionamento isotópico em um sistema de diagênese aberto em relação ao sulfato, possivelmente com altos fluxos de sulfato e rápidas taxas de troca e difusão entre a água intersticial e a água do mar.

Os dados sugerem que os sedimentos do SRCF apresentam baixas taxas de sulfato redução (SR), onde o sulfeto hidrogênio produzido esta sendo fixado no sedimento como pirita e na forma de enxofre orgânico. A formação da pirita não aumenta com a profundidade. A razão COT/CRS reflete que os sedimentos foram depositados em condições óxicas a subóxicas e a SR possui uma influência na mineralização da matéria orgânica (MO).

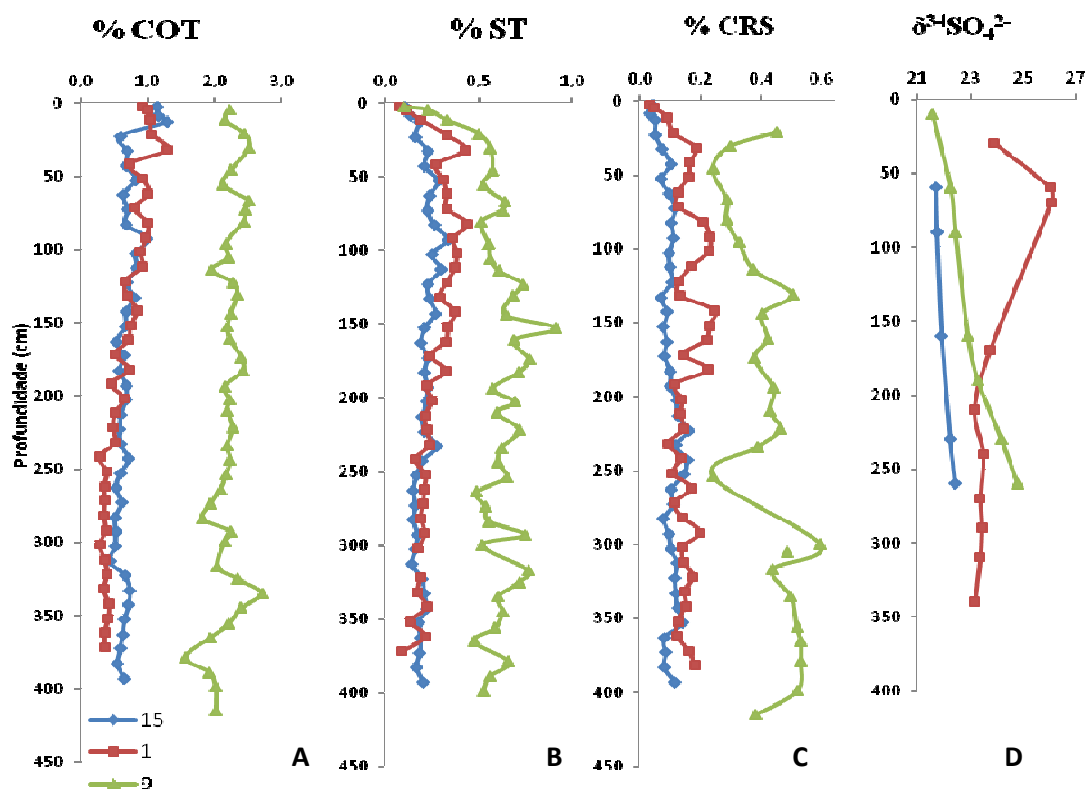
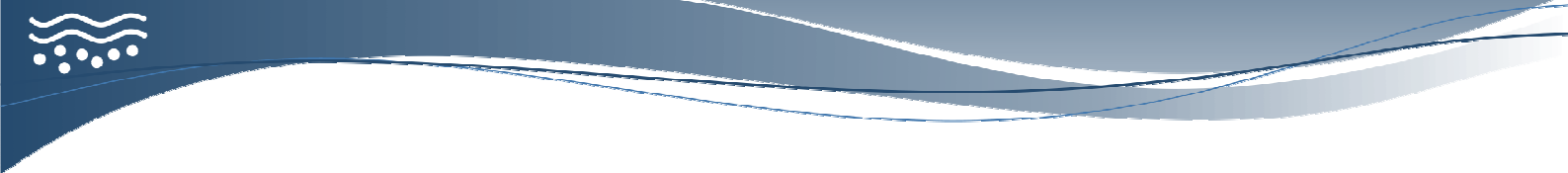


Figura 25 (A) Concentração de carbono orgânico total (COT); (B) Concentração de enxofre total (ST); (C) Concentração de Chromium Reducible Sulfur (CRS); (D) Composição isotópica do sulfato da água intersticial ($\delta^{34}\text{SO}_4^{2-}$) nos perfis sedimentares longos do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio.

Para acessar os dados desta atividade:

Acesse o banco de dados na mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

- [BDPR]/TestemunhosLongos/BULK_Kullenberg_DadosValidados.xls
- [BDPR]/TestemunhosLongos/Isotopos Sulfato_AguaIntersticial_Kullenberg.xls

Atividade Proposta #50: Análise por microscopia eletrônica de varredura da morfologia da pirita (MEV/EDS) em amostras de sedimentos (“Box-cores” e “Kullenberg”).

Esta atividade foi desenvolvida como tema da dissertação de mestrado da aluna Rut Amelia Díaz Ramos (CPF 061.068.317-93), defendida em fevereiro de 2012 no Programa de Geoquímica Ambiental da UFF, sob a orientação da Dra. Ana Luiza Albuquerque.

A distribuição do tamanho dos frambóides tem sido utilizada como indicadora paleoambiental das condições redox do ambiente deposicional. Neste sentido, a ressurgência sazonal de Cabo Frio, o grande tamanho dos frambóides (até 144 μm), os processos de poli-crescimento de frambóides, crescimento secundário e as superfícies de oxidação dos grãos de pirita (Figura 26- A,B,C,D), indicam que a deposição dos

sedimentos e a formação da pirita ocorrem baixo um regime redox altamente dinâmico estando relacionados à junção do re-trabalhamento dos sedimentos por organismos bioturbadores biológico e/ou físico pela atividade da hidrodinâmica das diferentes massas d'água presentes na região.

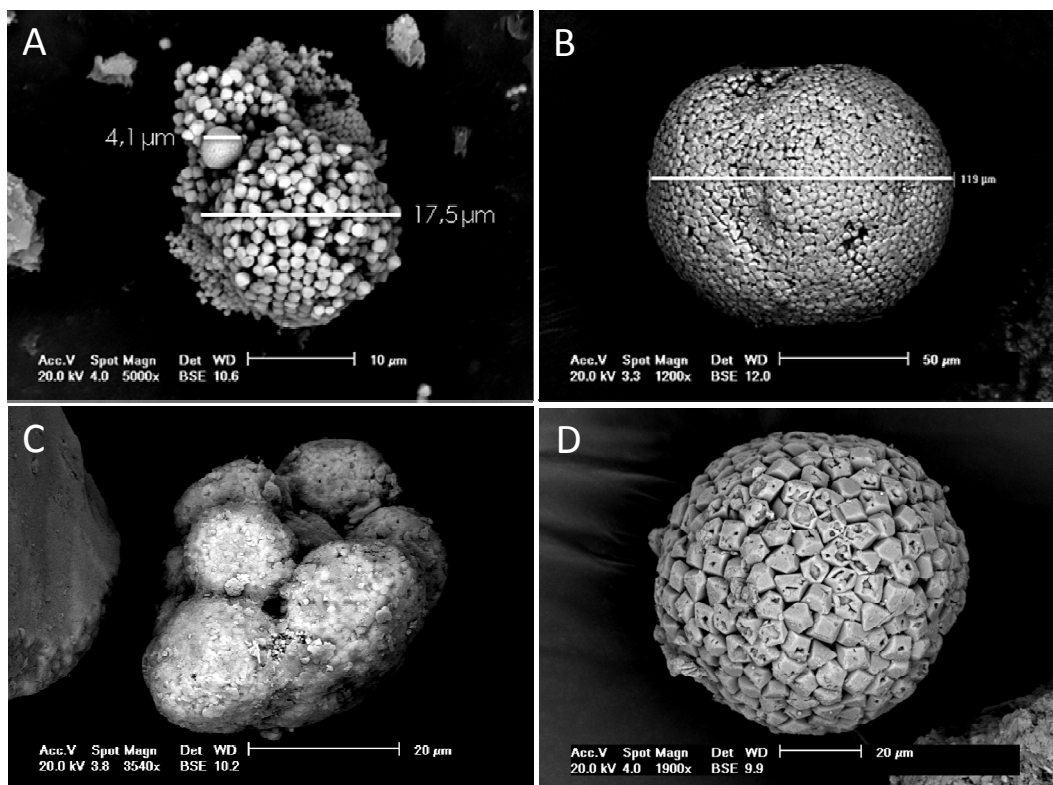


Figura 26 A) Frambóide de pirita ($\varnothing = 17,5 \mu\text{m}$) com crescimento secundário de outro frambóide de pirita ($\varnothing = 4,1 \mu\text{m}$); (B) Frambóide de pirita grande ($\varnothing = 119$) com aparência cristalina; (C) Poliframbóide formado por frambóides de menores tamanhos; (D) Frambóides de pirita com sinais de oxidação na superfície dos microcristais.

Para acessar aos produtos científicos desta atividade:

- Diaz et al., 2012. Morfologia da pirita sedimentar em sedimentos marinhos do sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ). 46º Congresso de Geologia. Santos, SP. 30 Setembro – 5 Outubro.
- Diaz, R. 2012. Geoquímica do enxofre e morfologia da pirita em sedimentos do sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ). Tese de Mestrado. Departamento de Geoquímica, UFF. 122 pp.
- Diaz et al., 2012. Early diagenesis of sulfur in a tropical upwelling system: Cabo Frio, Southeastern Brazil. *Geology*. October 40(10): 879-882.

Atividade Proposta #51: Análises estatísticas dos proxies geoquímicos e biológicos do fundeio para elaboração de curvas e modelos de calibração locais (Mg:Ca, Sr:Ca, $\delta^{18}\text{O}$).

A análise estatística dos proxies geoquímicos visando a calibração dos mesmos está sendo realizada na dissertação de mestrado do aluno Igor Venancio Martins de Oliveira (em andamento). Os primeiros resultados mostraram-se muito promissores. A Figura 27 ilustra o ajuste da composição isotópica das testas dos foraminíferos (*G.ruber* e *N. dutertrei*) às temperaturas do mar, medidas no fundeio. Os dados desta atividade estão em fase de finalização e comporão a dissertação de mestrado supra-citada.

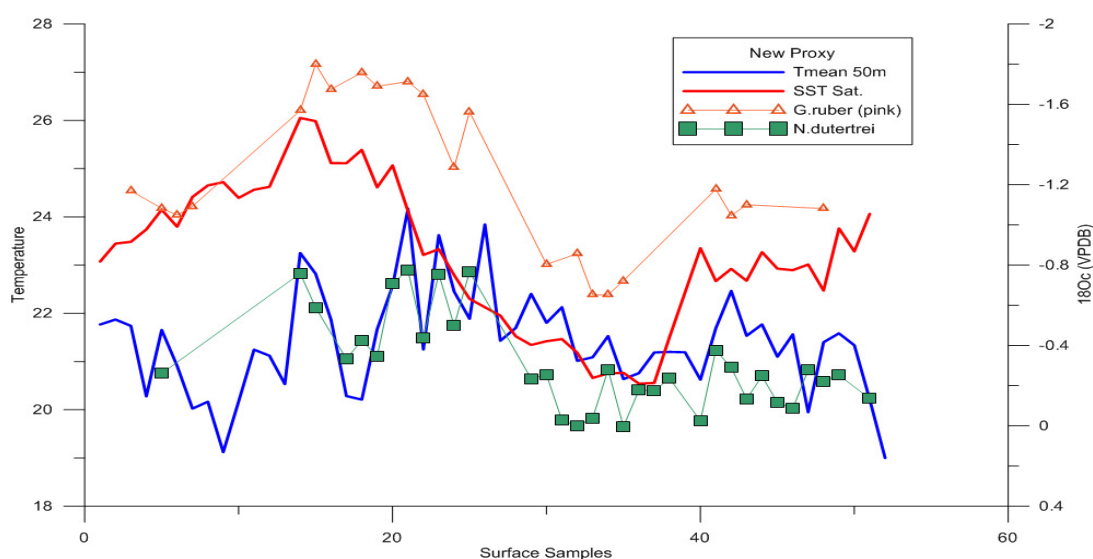
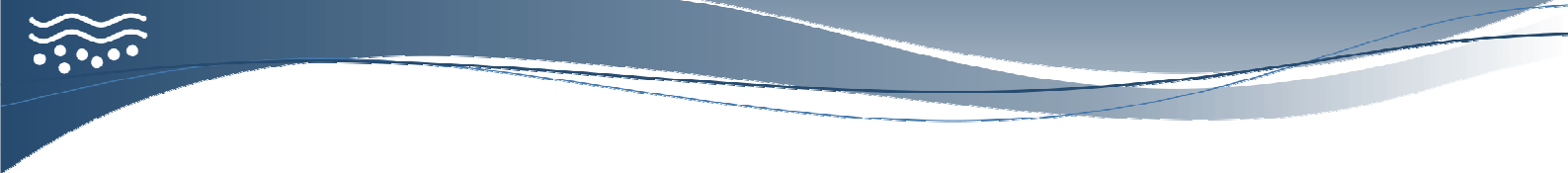


Figura 27 Variação da composição isotópica 18O de foraminíferos planctônicos (*G.ruber* e *N.dutertrei*) e sua relação com a temperatura da superfície do mar.

Atividade Proposta #52: Análise global dos padrões oceanográficos e dados geoquímicos das amostras de fundeio.

Uma análise global dos mecanismos oceanográficos que atuam na plataforma continental ao largo de Cabo Frio e seu impacto sobre a deposição do material foi realizada através de duas abordagens:

- Elaboração de um modelo estatístico que explique os mecanismos oceanográficos que controlam a circulação na região
- Avaliação do grau de transporte e retrabalhamento do material particulado na plataforma



Para tanto, a Figura 28 ilustra o potencial de explicação do modelo estatístico sobre os processos e mecanismos oceanográficos que interagem na plataforma continental de Cabo Frio. O modelo estatístico proposto explica 72% da variabilidade regional, o que foi considerado excepcional.

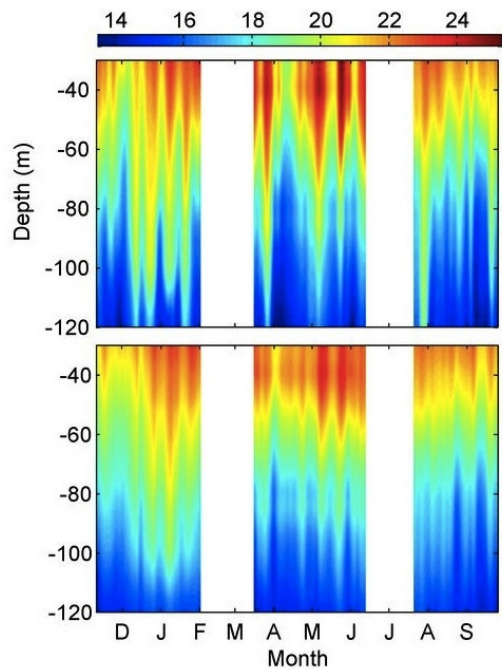


Figura 28 Superior – Perfil de térmico da coluna d’água na área do fundeio oceanográfico em Cabo Frio. Inferior – perfil térmico reconstituído através do modelo estatístico, mostrando uma correlação de 0.72.

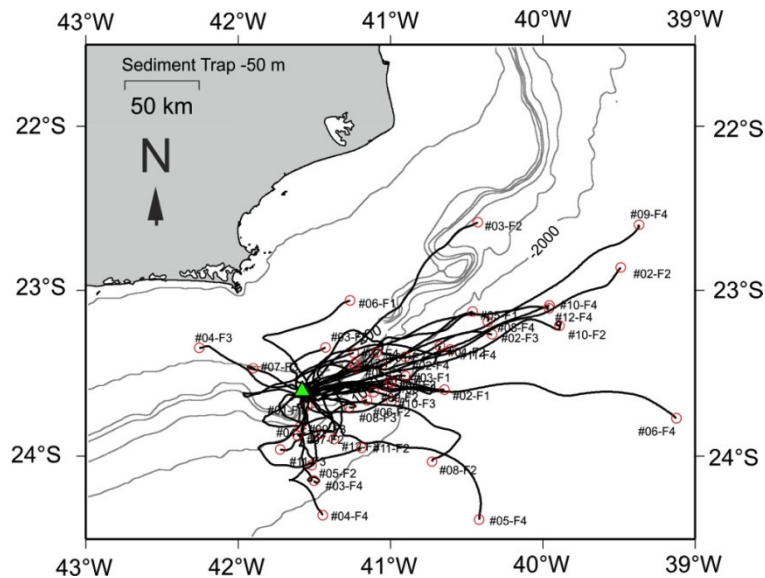


Figura 29 Retrovetores representando a trajetória do material particulado aprisionado em cada garrafa da armadilha de sedimentação.

Com base neste modelo estatístico foi possível identificar os papéis das ações sinérgicas da frente interna da Corrente do Brasil (CB), do divergente do ventos e do Ekman costeiro. Considerando a ação deste componentes sobre a deposição de particulados nas armadilhas de sedimentação, os resultados mostram que a CB é a

principal componente no transporte, responsável por carrear cerca de 83% do material aprisionado nas armadilhas de sedimentação (Figura 29).

Para acessar os produtos científicos:

Belem, A. L.; Castelao, R. M.; Albuquerque, A.L.; 2013. Controls of subsurface temperature variability in a western boundary upwelling system. Geophysical Research Letters. <http://dx.doi.org/10.1002/grl.50297>

Albuquerque, A.L.S.; Belem 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. Aceito.

Albuquerque, A.L.; Belem, A.; Cordeiro, L.G.; Mendoza, U.; Gurgel, M.H.C.; Knoppers, B.A.; Castelao, R.M.; Rangel, B.R.; Capilla, R.; 2013. Physical and geochemical coupling in particulate matter fluxes on mooring and sediment trap observations on the Southeastern Brazilian shelf. Continental Shelf Research. Submetido.

Atividade Proposta #53: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa, visando ajustes e re-planejamento de atividades.

Reuniões gerenciais do projeto ocorreram com frequência semestral com toda a equipe do fixa do projeto (coordenação e pesquisadores contratados) e tiveram como objetivo principal a checagem do cronograma de execução das atividades programadas e reposicionamentos estratégicos, em caso de necessidade.

Atividade Proposta #54: Contato com pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM-Marinha do Brasil) e a Associação de Pescadores da Região dos Lagos, visando á cooperação técnica-científica e apoio logístico para o acompanhamento dos experimentos em mar.

Ver descrição na Atividade #1.

Atividade Proposta #55: Avaliação integrada dos processos da interação oceano/atmosfera sobre os processos biogeoquímicos na coluna d'água ligados a produtividade primária e ao fluxo de partículas na região de Cabo Frio.

A avaliação integrada dos processos de interação oceano-atmosfera sobre os processos biogeoquímicos na plataforma continental de Cabo Frio está em fase final de avaliação e está sendo apresentado como um dos produtos científicos do Projeto Ressurgência, na forma de um artigo científico submetido a *Continental Shelf Research*. Neste sentido, baseados nos dados do fundeio oceanográfico foi proposto um modelo conceitual que define quatro condições oceanográficas-tipo que controlam a qualidade-quantidade de material particulado (Figura 30). Assim as quatro condições-tipo seriam relacionadas a:

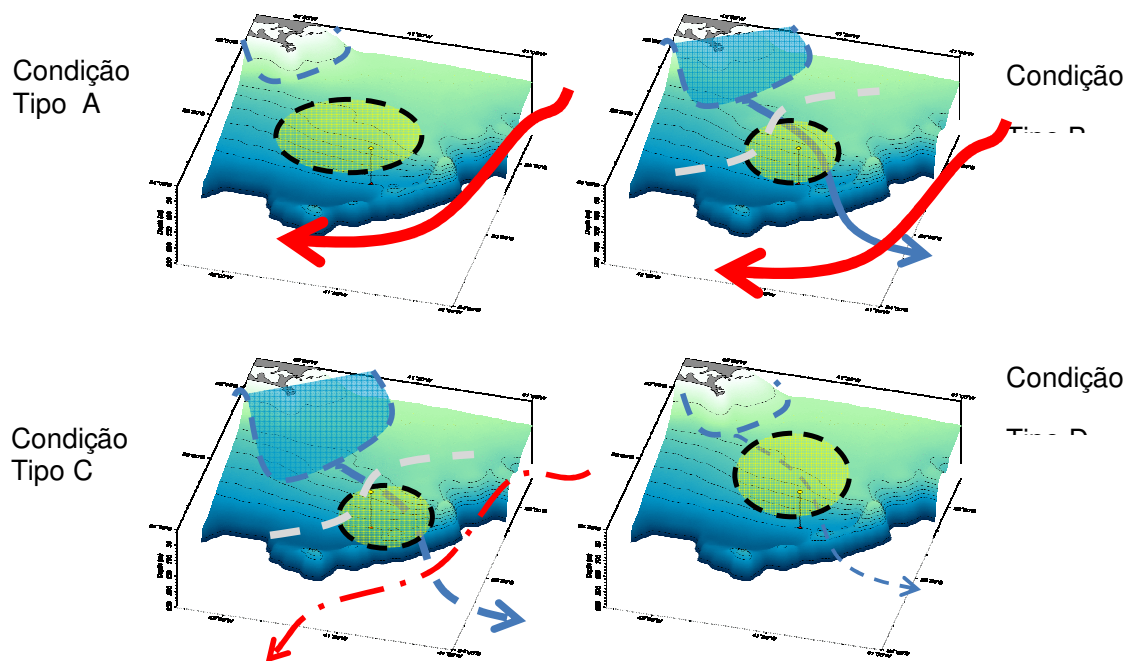


Figura 30 Blocos diagramas ilustrando os padrões de circulação correspondentes a cada um das condições-tipo identificadas.

Condição Tipo – A:

- A. intrusão de ACAS fraca sobre a plataforma
- B. Correntes cross-isóbata irregulares
- C. Potencial aumento da produtividade local
- D. Ausência de sinal de ressurgência costeira ou CB

Condição Tipo-B:

- A. Baixa intrusão de ACAS na plataforma
- B. Correntes cross-isobata onshore fracas ou fortes
- C. Baixa produtividade
- D. A sedimentação pode ser alta dependendo da CB

Condição Tipo-C:

- Forte intrusão de ACAS sobre a plataforma
- Fluxo cross-isóbata forte (offshore)
- Aumento da produtividade
- Sinal de ressurgência (águas frias) misturado com águas quentes (CB)

Condição Tipo-D:

- intrusão de ACAS (FORTE)
- Corrente cross-isóbata forte (offshore)
- Aumento da produtividade regional
- Sinal de ressurgência (águas frias) ausência de sinal da CB

Para acessar os produtos científicos:

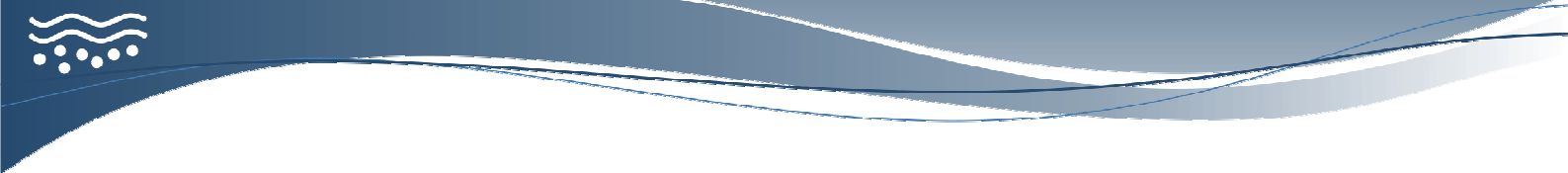
Belem, A. L.; Castela, R. M.; Albuquerque, A.L.; 2013. Controls of subsurface temperature variability in a western boundary upwelling system. *Geophysical Research Letters*. <http://dx.doi.org/10.1002/grl.50297>

Albuquerque, A.L.; Belem, A.; Cordeiro, L.G.; Mendoza, U.; Gurgel, M.H.C.; Knoppers, B.A.; Castela, R.M.; Rangel, B.R.; Capilla, R.; 2013. Physical and geochemical coupling in particulate matter fluxes on mooring and sediment trap observations on the Southeastern Brazilian shelf. *Continental Shelf Research*. Submetido.

Atividade Proposta #56: Modelagem dos processos de degradação qualitativa da matéria orgânica na coluna d'água, bem como na interface água-sedimento.

A integração dos resultados obtidos para os estudos de diagênese mostram um alto grau de complexidade, relacionados aos processos advectivos na coluna d'água e às interações entre a física e os processos biogeoquímicos na interface água-sedimento. Assim sendo, a modelagem dos processos diagenéticos será realizada como uma das principais atividades na fase II do Projeto Ressurgência.

Atividade Proposta #57: Caracterização das alquenonas acumuladas nos sedimentos da plataforma continental e sua relação com seus precursores (cocolitoforídeos) na coluna de água.



Como mencionado anteriormente (Atividade#32) o uso das alquenonas como proxy paleoceanográfico está ligado ao cálculo do índice U'_{37} que reflete as variações das temperatura da superfície do mar (TSM). Os resultados obtidos para o índice U'_{37} demonstram temperaturas reconstituídas variando entre um valor mínimo de 19,2°C e máximo de 24,4°C, com valor médio de 22,4°C. O confronto dos dados de TSMs recuperadas pelo índice U'_{37} nos testemunhos analisados com as séries temporais de TSM de dados instrumentais demonstrou, em linhas gerais, coerência. O registro de U'_{37} -TSM dos testemunhos BCCF 10-01 e BCCF 10-09 apresentou duas tendências bem definidas ao longo da série histórica (Figura 31).

O testemunho BCCF 10-01, coletado na borda externa da plataforma continental, apresentou uma tendência de leve resfriamento (aproximadamente 1,3°C) desde 1820 até cerca da década de 30, seguida por aquecimento até 2000 (0,7°C). O testemunho BCCF 10-09, coletado na porção média da plataforma, apresentou tendência semelhante de resfriamento (1,8°C) de 1898 até final da década de 50, também seguido por aquecimento de aproximadamente 2°C até 2004. As mesmas duas tendências foram registradas na série temporal dos dados de TSM obtidos por satélite do ERSST v3b, que mostrou tênue resfriamento de 0,5°C desde 1854 até 1920, sucedido por aquecimento de aproximadamente 1°C desta data até 2010. No caso do testemunho BCCF 10-15, os dados de U'_{37} -TSMs apresentaram três tendências distintas ao longo dos 35 anos recuperados (Figura 32).

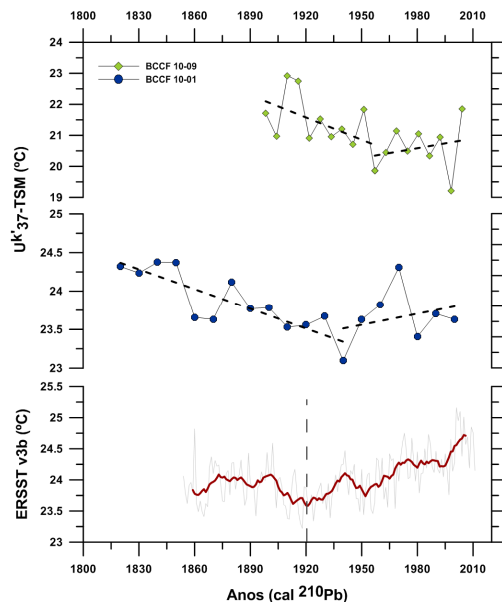


Figura 31 Confronto dos dados de TSM entre os testemunhos BCCF 10-01 e BCCF 10-09 e a série histórica de temperaturas medidas por satélite (ERSST v3b). As linhas tracejadas representam a regressões lineares dos pontos que compõem tendências distintas ao longo da série de dados.

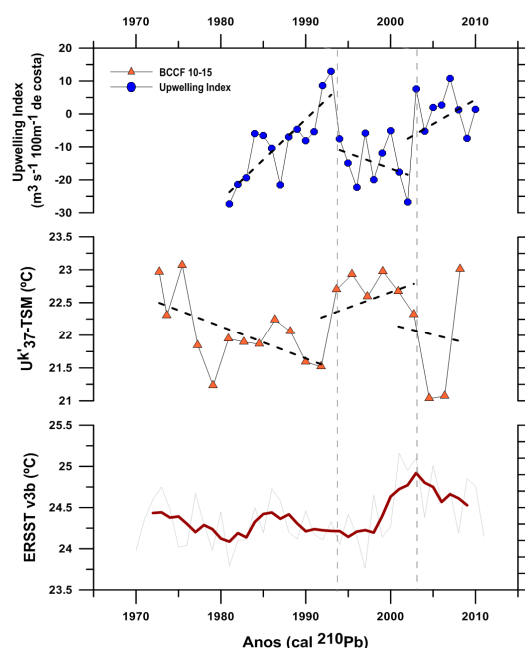
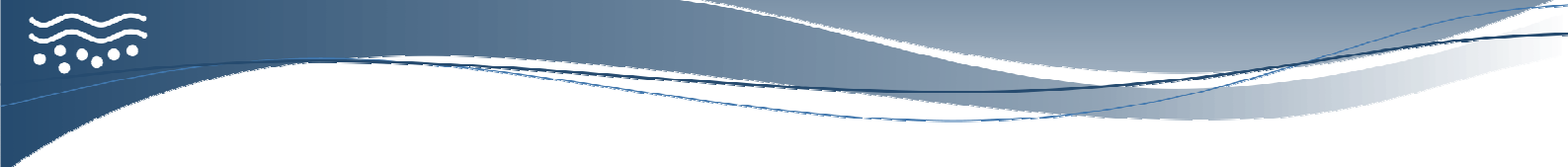


Figura 32 Confronto dos dados de TSM entre os testemunhos BCCF 10-15 a série histórica de dados de satélite - ERSST v3b e o Upwelling Index. As linhas tracejadas representam a regressões lineares dos pontos que compõem tendências distintas ao longo da série de dados.

De meados da década de 70 até meados da década de 90, foi observado um resfriamento de cerca de 2°C, seguido por leve aquecimento de 1°C até início dos anos 2000 e tênue resfriamento desta data até 2010. As mesmas três tendências foram observadas na série histórica do ERSST v3b para o mesmo período temporal. Além disso, a comparação dos dados de U'_{37} -TSMs do testemunho BCCF 10-15 com o Upwelling Index demonstrou comportamentos opostos entre as duas séries. A plotagem com essas séries de dados sobrepostas evidencia a tendência antifásica entre ambas (Figura 33).

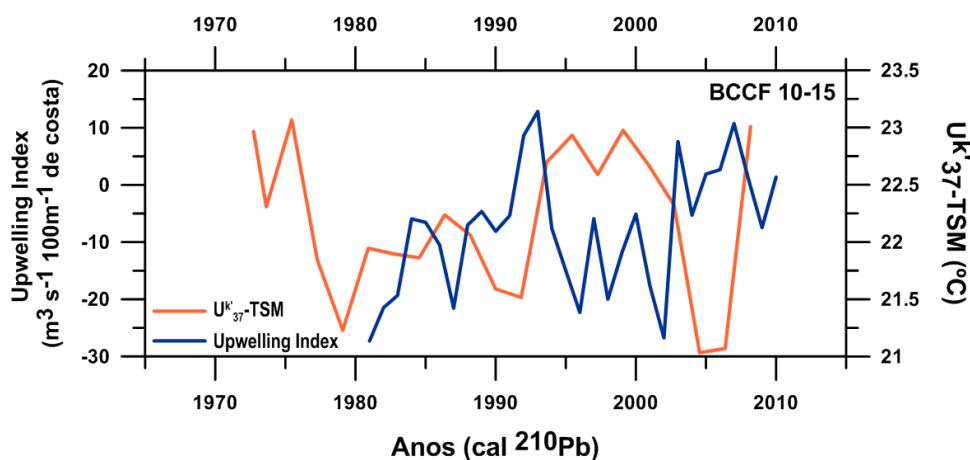


Figura 33 Sobreposição das séries de dados de U'_{37} -TSM para o testemunho BCCF 10-15 e Upwelling Index.

Para acessar os Protocolos Analíticos:

- *PR_Protocolo Lab_02-12_Biomarcadores Moleculares Orgânicos_Rev01*

Para acessar os dados desta atividade:

Acesse o banco de dados na mídia em anexo. Os dados encontram-se no arquivo

1. *[BDPR]/TestemunhosCurtos/Alquenonas_BCCF.xls*

Atividade Proposta #58: Avaliar os processos de piritização e/ou vulcanização da matéria orgânica que ocorrem em função dos processos de sulfato-redução na interface água-sedimento e sua importância na preservação/acumulação de matéria orgânica.

A atividade relacionada à especiação orgânica do enxofre nos testemunhos curtos e longos está sendo desenvolvida como tema da dissertação de doutorado da aluna Rut Amelia Díaz Ramos (CPF 061.068.317-93), iniciado em março de 2012 no Programa de Geoquímica Ambiental da UFF, sob a orientação da Dra. Ana Luiza Albuquerque.

No SRCF os menores valores de CRS em relação ao enxofre total (ST) sugerem que os compostos de S orgânico são uma fração significativa quantitativamente dentro da fração total de S reduzido, atingindo valores entre 15 e 95% nos testemunhos curtos e entre 15 a 75% nos testemunhos longos (Figura 34 e Figura 35). Entretanto, devido às baixas concentrações de ST nos testemunhos curtos (0.08-0.46%) e longos (0.08-0.8%) esta fração orgânica representa concentrações mínimas de 0.012% e máximas de 0.6 %.

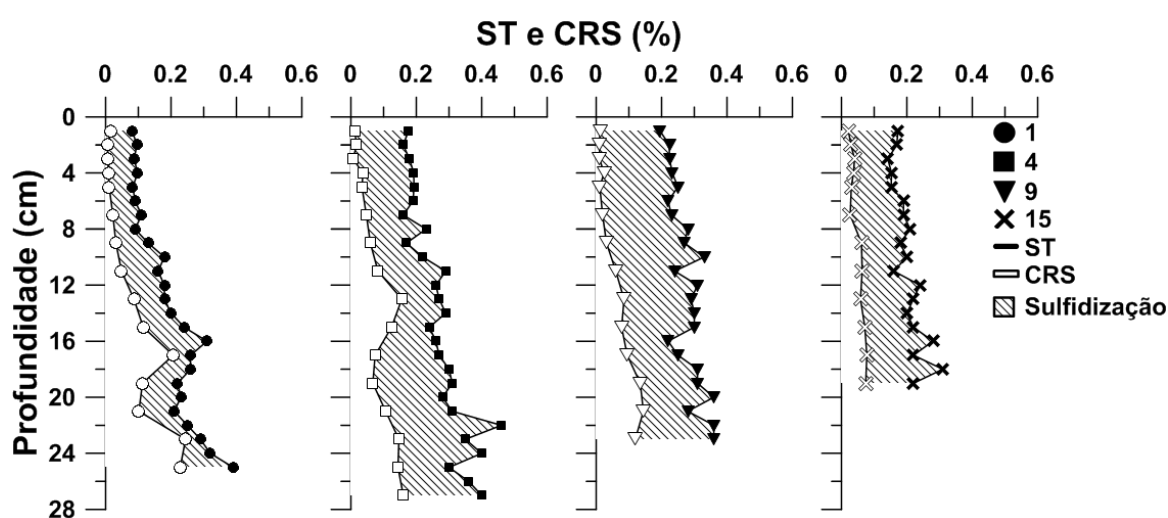


Figura 34 Potencial de sulfidização da matéria orgânica nos perfis sedimentares curtos do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio.

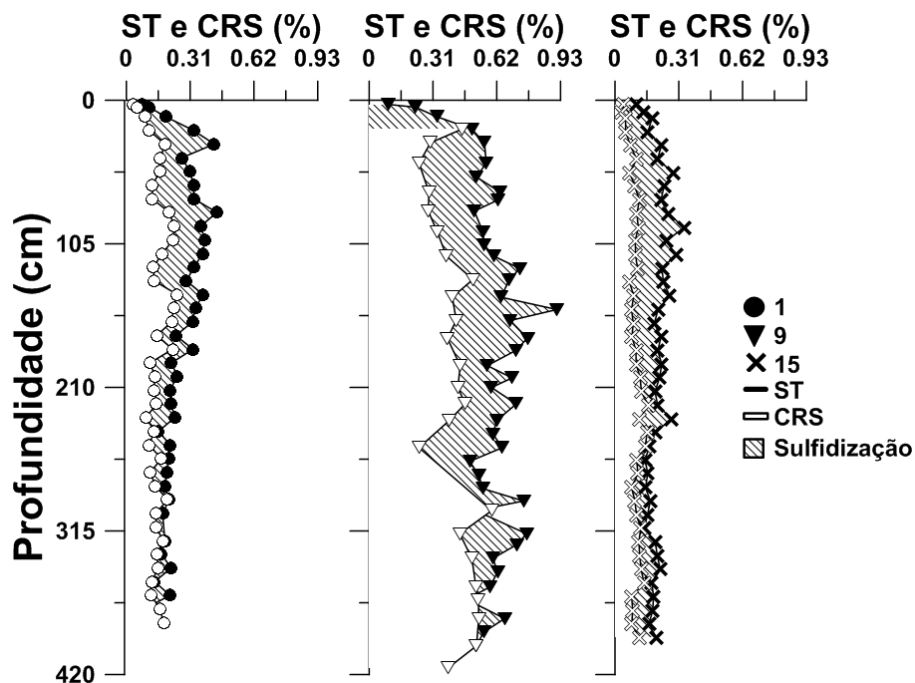
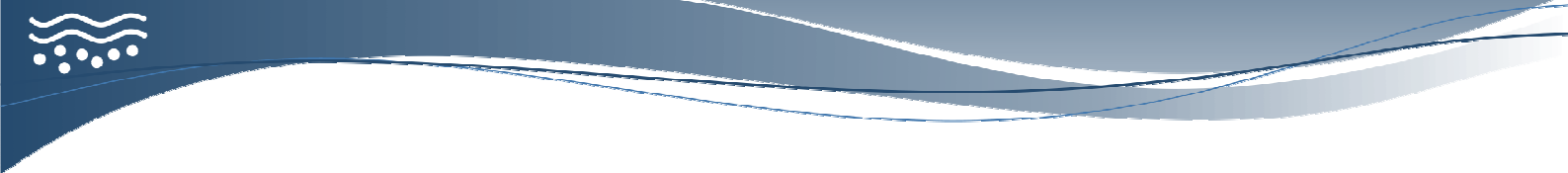


Figura 35 Potencial de sulfidização da matéria orgânica nos perfis sedimentares longos do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio.

Nos testemunhos curtos o S húmico (0.4-3.8%), operacionalmente definido como o S extraído com as substâncias húmicas com uma solução 0.1 N de NaOH, representa entre 8 e 82% do S total nos sedimentos do SRCF (Figura 36-A). A razão atômica S/C dos ácidos húmicos (0.03 e 0.3) sugere um enriquecimento de S nos ácidos húmicos, devido à incorporação do S na matriz húmica durante a diagênese recente pela reação da MO com as espécies reduzidas (H_2S) ou intermediárias (So , polisulfetos) do S (Figura 38-B). Entretanto as concentrações de CRS e o S húmico não atingem o 100% do S total na maioria das amostras, pelo qual é preciso no PR-2 completar a especiação do S abordando especialmente o S ligado com as frações orgânicas dos ácidos fúlvicos e o do querogênio.

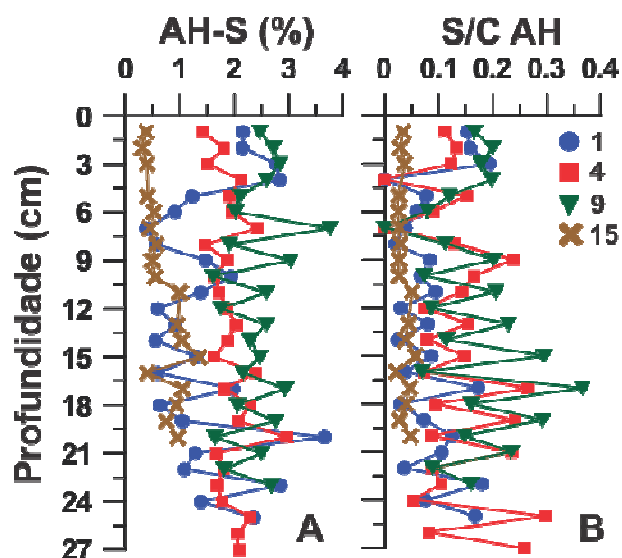
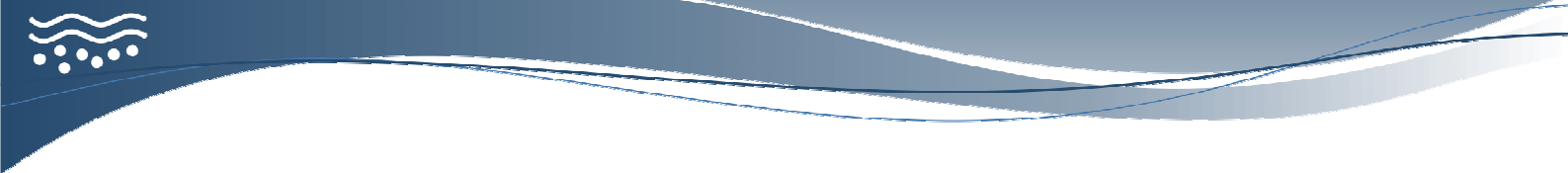


Figura 36 (A) Concentração do Enxofre nos ácidos húmicos (S HA); (B) Razão enxofre vs. carbono nos ácidos húmicos (S/C) nos perfis sedimentares curtos do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio.

As razões isotópicas dos ácidos húmicos cobrem uma faixa de -8 e +5 ‰, estando significativamente enriquecidas no isótopo leve comparado com a água do mar e o sulfato na água intersticial (aprox. +21‰), mas empobrecidas com respeito à pirita co-existente (aprox. -27 e -42‰) (Figura 37). O isótopo do enxofre do ácido húmico não correlaciona com a razão S/C, mas indica um incremento na contribuição do enxofre diagenético com a profundidade, o qual é estimado em base ao enfoque do balanço de massa isotópico.

A incorporação do S na matéria orgânica (MO) é um processo conhecido como sulfidização da MO. Esta incorporação do enxofre tem sido proposta como um mecanismo importante para preservar biolipídios e por inibir a biodegradação de MO de origem algal já que após a diagênese recente, com o tempo e com o soterramento dos sedimentos é gerado um incremento gradual no peso molecular dos compostos, o qual inibe a degradação da MO pelas bactérias e contribui na formação de querogênio.

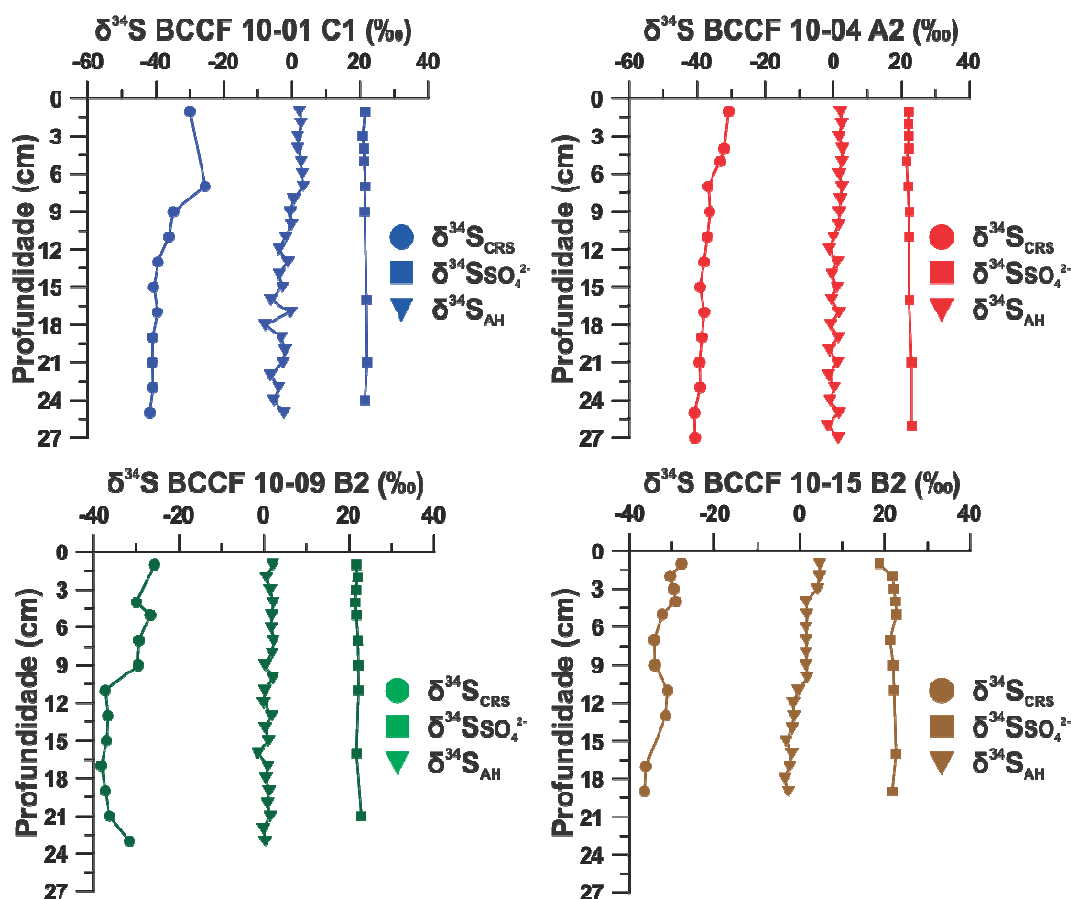
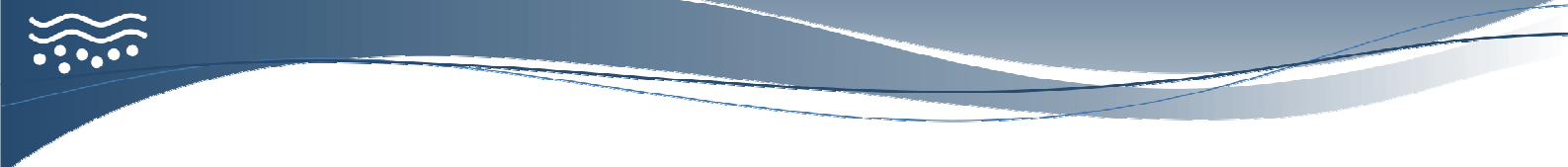


Figura 37 Balanço da composição isotópica do Chromium Reducible Sulfur ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CRS}}$); sulfato da água intersticial ($\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$) e ácido hùmico ($\delta^{34}\text{S}_{\text{AH}}$) nos perfis sedimentares curtos do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio.

Amplios estudos sobre a estrutura química do querogênio, seus organismos fonte e suas rotas de formação tem sido conduzidos no estudo da sulfidização da MO. A técnica analítica de Rock-Eval é comumente empregada para uma primeira avaliação da composição bruta do querogênio, entretanto a determinação dos biomarcadores de S, ou os chamados compostos orgânicos de enxofre (COS), que podem fornecer inventários completos dos seus precursores bioquímicos e de suas fontes, tem sido cada vez mais aplicado. Os tiofenos serão os biomarcadores-alvo no estudo da sulfidização da MO no PR-2. Outros biomarcadores de enxofre, como os tióis, dissulfetos, tioalcanos e esteróis são reportados como indicadores dos processos de formação e diagênese da MO, a presença destas classes também será investigada pelo projeto. Neste sentido, no PR-2 será feito um treinamento de dois integrantes da equipe em várias destas técnicas em cooperação com o Dr. Stephan Schouten do Departamento de Biogeoquímica Orgânica Marinha do Instituto Royal de Oceanografia da Holanda (Royal Netherlands Institute for Sea Research – NIOZ), Texel, visando à implementação de alguma destas técnicas no Laboratório de Orgânica do Instituto de

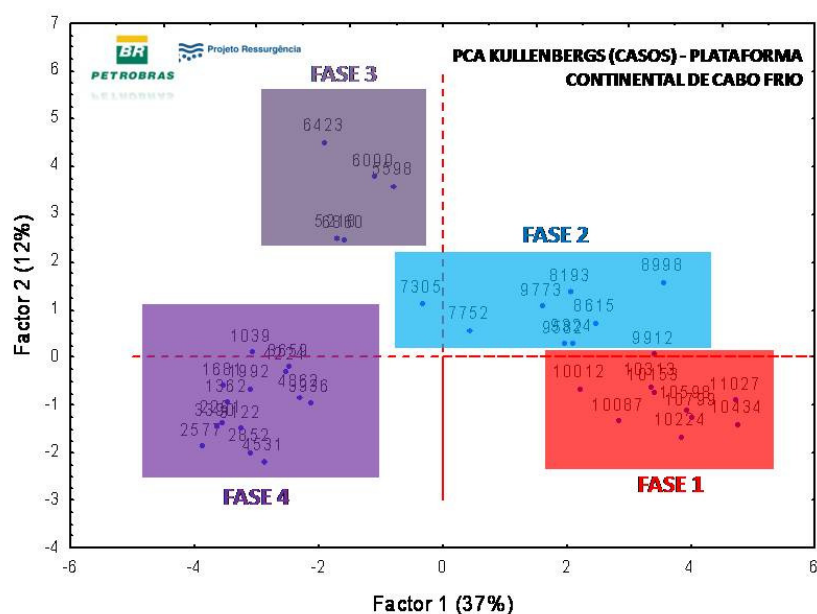
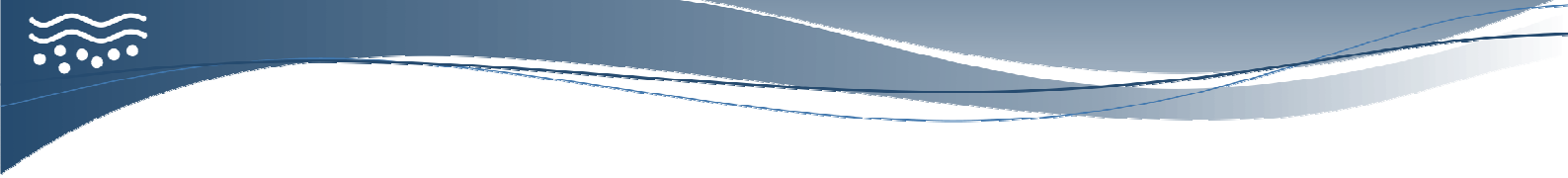


Figura 39 Análise de Componentes Principais (PCA) ao longo do testemunho identificando quatro fases paleoambientais na região.

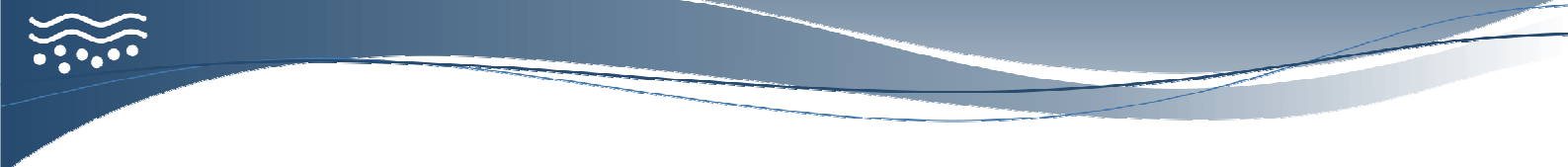
O detalhamento destas fases para a concepção de um modelo conceitual está ainda em andamento e será realizada com nova integração de dados com o grupo da Geologia da UFRJ.

Atividade Proposta #60: Interpretação paleoambiental da variabilidade da paleoressurgência em Cabo Frio e seu papel nos processos biogeoquímicos.

A proposta de interpretação paleoambiental está, até o momento, fortemente baseada no uso de foraminíferos planctônicos, uma vez que a integração deste proxy com os demais estudados está em fase de finalização.

Neste sentido, o levantamento das assembleias de foraminíferos planctônicos nas distintas feições oceanográficas do Sistema de Ressurgência de Cabo Frio ao longos dos últimos 11.500 anos de oceanografia foram marcados por sete principais episódios:

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 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.

Para acessar os produtos desta atividade:

Lessa, D.; R.P. Portilho-Ramos; C.F. Barbosa; A.R. Silva; A.L. Belem; B. Turcq; A.L. Albuquerque; 2013. Planktonic foraminifera in southeastern Brazilian margin sediments: a biofacies model designed for paleoenvironmental applications, Marine Micropaleontology, Submetido.

Lessa, Douglas Vilela de Oliveira. (Defesa em 2013). Paleooceanografia do sistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ) nos últimos 12.000 anos inferida por foraminíferos planctônicos. Orientador: Ana Luiza Albuquerque: Programa de Pós-graduação em



Geoquímica Ambiental, UFF, e (co-tutela) Bruno Turcq: Université Pierre et Marie Curie, Paris, França

Atividade Proposta #61: Reunião semestral para avaliação dos resultados frente às metas propostas, visando estimar o rendimento do grupo de pesquisa.

Reuniões gerenciais do projeto ocorreram com frequência semestral com toda a equipe do fixa do projeto (coordenação e pesquisadores contratados) e tiveram como objetivo principal a checagem do cronograma de execução das atividades programadas. No caso desta última reunião gerencial o objetivo principal foi estabelecer as responsabilidades para o fechamento da Fase 1 do Projeto Ressurgência e iniciar o planejamento da sua continuidade, na Fase 2.

Atividade Proposta #62: Elaboração de relatório integrado final.

Este relatório representa o produto desta atividade e pretende também apresentar de forma sintética (detalhes estão disponibilizados nos Protocolos Analíticos, no Banco de Dados e nos Produtos Científicos – incluídos neste relatório final) a execução de cada atividade proposta no Termo de Cooperação, de forma a demonstrar que todas as atividades propostas foram desenvolvidas ao longo da vigência 2009-2013.

