

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DA
ÁREA DE RESSURGÊNCIA DE CABO FRIO, RJ, BRASIL**

Bruno Rodrigues Innecco

Dissertação de Mestrado
Bruno Rodrigues Innecco

V. 1

PPGL
IGEO
UFRJ

2012

2012



UFRJ

**CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DA ÁREA DE
RESSURGÊNCIA DE CABO FRIO, RJ, BRASIL**

Bruno Rodrigues Innecco

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geologia).

Orientador(es):

João Graciano Mendonça Filho
Frederico Sobrinho da Silva

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2012

CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DA ÁREA DE
RESSURGÊNCIA DE CABO FRIO, RJ, BRASIL

Bruno Rodrigues Innecco

Orientadores: João Graciano Mendonça Filho
Frederico Sobrinho da Silva

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro –UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (Geologia).

Aprovada por:

Presidente: DSc. MARIA DOLORES WANDERLEY, IGEO/UFRJ

DSc. MARIA ÁNGELES GÓMEZ BORREGO, INCAR - CSIS

DSc. RAMSÉS CAPILLA, PETROBRÁS

DSc. MARCELO DE ARAUJO CARVALHO, MN/UFRJ

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2012

Innecco, Bruno Rodrigues
Caracterização Biogeoquímica dos Sedimentos da Área de
Ressurgência de Cabo Frio, RJ, Brasil. [Rio de Janeiro] 2012.
xiv, 84 p. (Instituto de Geociências – UFRJ, M.Sc., Programa
de Pós-Graduação em Geologia, 2009).
Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro,
realizada no Instituto de Geociências.
1. Ressurgência; 2. Matéria Orgânica; 3. Biopolímeros; 4.
Atividade enzimática bacteriana; 5. Geomicrobiologia.
I – IG/UFRJ II - Título (série)

**À minha família amada,
que sempre me incentivou
e apoiou em todos os momentos.**

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2012

AGRADECIMENTOS

A minha Família que sempre esteve ao meu lado e me apoiou na minha formação, seja acadêmica, profissional ou pessoal.

Ao meu orientador Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho pela sua orientação, apoio, confiança, auxílio, disponibilidade do laboratório para as análises de geoquímica e toda estrutura necessária para a execução desse trabalho.

Ao meu co-orientador Frederico Sobrinho da Silva e a Sinda Beatriz Carvalhal Gomes pela sua orientação, incentivo, força, paciência e ensinamentos que foram tão necessários ao longo de minha formação;

A todos do laboratório de Palinofáceis e Facéis Orgânicas - UFRJ (LAFO), que contribuíram de forma direta ou indireta nesse trabalho. Laboratório este onde pude conhecer e criar muitas amizades verdadeiras.

A Prof. Dra. Mirian Araújo Carlos Crapez pelos ensinamentos, sua calma e paciência que contagia a todos, além de disponibilizar o laboratório para as análises microbiológicas.

A todos do laboratório de Microbiologia Marinha - UFF (MICROMAR), nos quais tenho enorme carinho e eterna gratidão pela ajuda nas análises e inúmeros momentos de descontração, risadas, aprendizagens e experiência.

Aos meus amigos verdadeiros, que mesmo sem se envolver com a realização deste trabalho, fazem parte da minha vida e os levarei para o resto da vida.

Ao Projeto Ressurgência.

A rede temática de Geoquímica/Petrobrás.

A ANP pelo auxílio através da bolsa.

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DA ÁREA DE RESSURGÊNCIA DE CABO FRIO, RJ, BRASIL

Bruno Rodrigues Innecco

Orientadores: João Graciano Mendonça Filho
Frederico sobrinho da Silva

O fenômeno da ressurgência é caracterizado pelo afloramento de águas profundas, frias e ricas em nutrientes em determinadas regiões dos oceanos, criando condições favoráveis a uma elevada produtividade primária, que pode refletir em sedimentos mais ricos em matéria orgânica. O presente trabalho objetiva caracterizar a bioquímica e geoquímica da matéria orgânica associada à atividade bacteriana nos sedimentos superficiais e testemunhos. A área de estudo está localizada na região de Cabo Frio/ RJ, Brasil, onde foram realizadas amostragens de 12 estações com *Box Core* e 2 testemunhos *Kullemberg* (CF10-01C e CF10-15C). O material coletado sofreu análise geoquímica e apresentou teores de carbono orgânico total (COT) com média de 1,13 ($\pm 0,26$) %, e o enxofre (S) uma média de 0,14 ($\pm 0,05$) %. Através das razões de COT:S associadas aos dados referentes aos metabolismos bacterianos, verificou-se a preferência do metabolismo aeróbio (aerobiose, fermentação e desnitrificação), onde pode-se classificar o ambiente como óxido a sub-óxido. Através da quantificação dos biopolímeros pode-se estabelecer a seguinte relação: carboidratos > lipídios > proteínas. Obtendo-se uma média de carboidratos de 26,41 ($\pm 7,83$) mg.g⁻¹, proteínas com 9,85 ($\pm 2,24$) mg.g⁻¹ e por fim os lipídios com média de 21,77 ($\pm 3,61$) mg.g⁻¹. Nas atividades enzimáticas, o sistema transportador de elétrons (ASTE) apresentou altas concentrações, enquanto que as enzimas esterases (EST) apresentaram baixas concentrações. A densidade populacional bacteriana verificada foi alta, porém não ocorreram grandes variações em sua biomassa ($\approx 10^8$ - 10^{10} células.g⁻¹). Com base nos resultados obtidos, a presença destes metabolismos aeróbicos pode estar relacionada à disponibilidade de O₂ trazido pela ressurgência. Verificou-se também, que as bactérias presentes nos sedimentos da região estão metabolicamente ativas no ambiente, apresentando baixos gastos energéticos com quebra de matéria orgânica, demonstrando que esta se encontra em abundância e na dimensão ideal para consumo (<600Da).

Palavras-chave: ressurgência, matéria orgânica, biopolímeros, atividade enzimática bacteriana, geomicrobiologia.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2012

ABSTRACT**BIOGEOCHEMISTRY CHARACTERIZATION OF SEDIMENTS OF CABO FRIO
UPWELLING, RJ, BRAZIL**

Bruno Rodrigues Innecco

Orientador: João Graciano Mendonça Filho
Frederico sobrinho da Silva

The phenomenon of upwelling is characterized by uplift of deep, cold, nutrient-rich water in certain regions of the oceans, creating favorable conditions for high primary productivity, which may reflect in sediments rich in organic matter. The present work aims to characterize the biochemistry and geochemistry of organic matter associated with bacterial activity in sediments and testimonies. The study area is located in the region of Cabo Frio / RJ, Brazil, where samples taken from 12 stations with *Box Core* and two cores *Kullemberg* (CF10-01C and CF10-15C). The levels of total organic carbon (TOC) had a mean of 1.13 (\pm 0.26)%, and sulfur (S) an average of 0.14 (\pm 0.05)%. The collected material has undergone geochemical analysis and showed levels of total organic carbon (TOC) with a mean of 1.13 (\pm 0.26)%, and sulfur (S) an average of 0.14 (\pm 0.05)%. By reason of TOC: S associated with the data on bacterial metabolism, it was the preference of aerobic metabolism (aerobic, fermentation and denitrification), which can be classified as oxic environment sub-oxic. Through the quantification of biopolymers can establish the following relationship: carbohydrate > lipid > protein. Obtaining an average of carbohydrates 26.41 (\pm 7.83) mg.g⁻¹, proteins 9.85 (\pm 2.24) mg.g⁻¹, and finally the lipid with an average of 21, 77 (\pm 3.61) mg.g⁻¹. In enzyme activity, the electron transport system (ASTE) showed high concentrations, while the enzymes esterase (EST) had low concentrations. The bacterial population density observed was high, but no major changes in their biomass (\approx 10⁸-10¹⁰ células.g⁻¹). Based on these results, the presence of aerobic metabolism may be related to the availability of O₂ brought by upwelling. It was also found that the bacteria present in sediments in the region are metabolically active in the environment, with low energy expenditure breakdown of organic matter, showing that this is in abundance and size ideal for consumption (<600Da).

Key-Words: upwelling, organic matter, biopolymers, bacterial enzyme activity, geomicrobiology.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE QUADROS	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivos específicos	2
2 MATERIAIS E MÉTODOS	3
2.1 ÁREA DE ESTUDO	3
2.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	4
2.3 AMOSTRAGEM	5
2.4 PREPARO DAS AMOSTRAS	9
2.5 PARÂMETROS GEOQUÍMICOS	10
2.5.1 Determinação do carbono orgânico total e enxofre	10
2.5.2 Preparação das amostras (descarbonatação)	10
2.5.3 Determinação dos biopolímeros	11
2.5.3.1 Proteínas totais	11
2.5.3.2 Carboidratos totais	11
2.5.3.3 Lipídeos totais	11
2.6 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	12
2.6.1 Atividades das enzimas esterases bacterianas	12
2.6.2 Atividade do sistema transportador de elétrons bacteriano	13
2.6.3 Carbono orgânico bacteriano e biomassa bacteriana	13
2.6.4 Atividade respiratória bacteriana	14
2.7 Tratamento estatístico	14
2.8 Preparação dos mapas no programa Surfer	15
3 RESSURGÊNCIA	16
3.1 Importância da produtividade primária	18

3.2 Correntes	19
3.3 Massas d'água	21
4 COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS	23
4.1 Sedimentação e sua importância (acumulação, preservação, degradação)	27
5 GEOMICROBIOLOGIA	28
6 RESULTADOS	32
6.1 <i>Box Core</i>	32
6.1.1 Carbono orgânico total e enxofre	32
6.1.2 Biopolímeros	34
6.1.3 Atividades enzimáticas	37
6.1.4 Contagem de células bacterianas e carbono orgânico bacteriano	39
6.1.5 Atividade respiratória bacteriana	39
6.1.6 Análise de agrupamento	40
6.2 <i>Kullebergs</i>	42
6.2.1 Caracterização litológica dos testemunhos	42
6.2.2 Carbono orgânico total e enxofre	43
6.2.3 Biopolímeros	45
6.2.4 Atividades enzimáticas	52
6.2.5 Contagem de células bacterianas e carbono orgânico bacteriano	54
6.2.6 Atividade respiratória bacteriana	55
6.2.7 Análise de agrupamento	56
7 DISCUSSÃO	60
8 CONCLUSÃO	75
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO A – Resultados das análises dos sedimentos superficiais e <i>Kullebergs</i> .	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo indicando as linhas batimétricas na costa de Cabo Frio.....	3
Figura 2: Mapa de localização da amostragem por <i>Box Core</i> , Cabo Frio/RJ.....	6
Figura 3: Mapa de localização dos pontos de amostragem dos <i>Kullemberts</i>	6
Figura 4: Embarcação (à esquerda) e equipamentos utilizados para a coleta dos <i>Kullemberts</i> (à direita).....	7
Figura 5: Sequência de lançamento e retirada dos <i>Kullemberts</i>	8
Figura 6: Abertura do <i>Kullembert</i> e retirada das amostras das bases de cada metro.....	9
Figura 7: Desenho esquemático demonstrando uma alça microbiana representando uma Bomba Biológica.....	19
Figura 8: Mapa esquemático representando as principais correntes e ocorrências de Ressurgência.....	20
Figura 9: Desenho esquemático representando o fenômeno de ressurgência costeira.....	21
Figura 10: Imagem do fenômeno de ressurgência de Cabo Frio e da corrente do Brasil.....	22
Figura 11: Versatilidade metabólica bacteriana na diagênese da matéria orgânica, modificado de McNeil and Little (1992), por Crapez (2007).....	31
Figura 12: Distribuição do carbono orgânico total (COT), enxofre (S) e razão COT:S nos sedimentos superficiais.....	33
Figura 13: Distribuição dos carboidratos (CHO), proteínas (PTN) e lipídeos (LIP) nos sedimentos superficiais.....	35
Figura 14: Relação entre carboidratos (CHO), proteínas (PTN) e lipídeos (LIP) com o COT nos sedimentos superficiais.....	36
Figura 15: Distribuição do carbono biopolimérico (BPC) nos sedimentos superficiais.....	37
Figura 16: Concentração das enzimas desidrogenase (ASTE) nos sedimentos superficiais....	38
Figura 17: Concentração das enzimas esterase (EST) nos sedimentos superficiais.....	38
Figura 18: Concentração de células bacterianas nos sedimentos superficiais.....	39
Figura 19: Agrupamento das variáveis (Modo R) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para as amostras de sedimento superficial.....	40
Figura 20: Agrupamento das estações (Modo Q) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para as amostras de sedimento superficial.....	41
Figura 21: Granulometria dos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.....	42

Figura 22: Porcentagem de carbono orgânico total (COT) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.....	44
Figura 23: Porcentagem de enxofre (S) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.....	44
Figura 24: Razão COT:S nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.....	45
Figura 25: Distribuição dos carboidratos (CHO) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C....	46
Figura 26: Distribuição das proteínas (PTN) nos testemunhos CF10-01C e CF10-1.....	46
Figura 27: Distribuição dos lipídeos (LIP) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.....	47
Figura 28: Relação entre carboidratos (CHO), proteínas (PTN) e lipídeos (LIP) com o COT no testemunho CF10-01C.....	48
Figura 29: Relação entre carboidratos (CHO), proteínas (PTN) e lipídeos (LIP) com o COT no testemunho CF10-15C.....	49
Figura 30: Razão PROTEÍNA:CARBOIDRATO (PTN:CHO) dos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.....	50
Figura 31: Razão CARBOIDRATO:COT dos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.....	51
Figura 32: Concentração do Carbono Biopolimérico (BPC) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.....	52
Figura 33: Concentração das enzimas desidrogenase (ASTE) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.....	53
Figura 34: Concentração das enzimas esterases (EST) nos testemunhos CF10e CF10-15C.....	54
Figura 35: Concentração de células bacterianas nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.....	55
Figura 36: Agrupamento das variáveis (modo R) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para o testemunho CF10-01C.....	57
Figura 37: Agrupamento das amostras (Modo Q) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para o testemunho CF10-01C.....	57
Figura 38: Agrupamento das variáveis (Modo R) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para o testemunho CF10-15C.....	58
Figura 39: Agrupamento das amostras (Modo Q) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para o testemunho CF10-15C.....	59
Figura 40: Distribuição do COT, S e razão COT:S nos sedimentos superficiais.....	62
Figura 41: Distribuição dos biopolímeros nos sedimentos superficiais.....	65
Figura 42: Razões CHO:COT, PTN:CHO e BPC para os sedimentos superficiais.....	67

Figura 43: Atividade enzimática e número de células nos sedimentos superficiais.....	70
Figura 44: Agrupamento das análises geoquímicas e bioquímicas do CF10-01C.....	73
Figura 45: Agrupamento das análises geoquímicas e bioquímicas do CF10-15C.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coordenadas dos pontos de amostragem.....	7
Tabela 2: Temperatura e salinidade características das massas d'água de Cabo Frio/RJ.....	22
Tabela 3: Distribuição das vias metabólicas bacterianas nos sedimentos superficiais.....	40
Tabela 4: Distribuição das vias metabólicas bacterianas no testemunho CF10-01C.....	55
Tabela 5: Distribuição das vias metabólicas bacterianas no testemunho CF10-15C.....	56
Tabela 6: Quantificação dos teores de COT, S e razão C/S em sedimentos superficiais de diferentes locais de estudo.....	61
Tabela 7: Classificação da qualidade dos sedimentos quanto ao teor de carbono orgânico total.....	61
Tabela 8: Estado trófico dos sistemas costeiros.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação do estado trófico de ambientes marinhos e costeiros baseada na composição bioquímica dos sedimentos proposta por Dell'Anno <i>et al.</i> (2002) e Vezzuli & Fabiano (2006).....	26
---	----

1. INTRODUÇÃO

A maior parte da produtividade marinha ocorre nas regiões costeiras da plataforma continental, onde se destacam os recifes de corais e as regiões de ressurgência. 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 nos sedimentos (Relexans *et al.*, 1996). Nestas regiões, parte da matéria orgânica produzida (produtividade primária) pode ser acumulada e preservada ao longo do tempo (matéria orgânica sedimentar), produzindo sedimentos e rochas ricos em matéria orgânica potencialmente precursora de hidrocarbonetos (Parrish, 1982).

Os sedimentos marinhos acumulados nas zonas de ressurgência costeira oferecem a oportunidade de estudo da variação temporal da produtividade primária marinha e dos processos paleoceanográficos e paleoambientais, os quais podem ser interpretados como resultantes das interações oceano-atmosfera e continente-oceano, permitindo, também, inferências sobre mudanças climáticas globais e seu efeito sobre a acumulação/transformação/preservação da matéria orgânica (Carvalho, 2004).

A plataforma continental SE brasileira entre Cabo Frio (23° S) e Cabo de Santa Marta (28° S), área de estudo, é influenciada por meandros da corrente do Brasil e sistemas frontais meteorológicos, que desempenham um papel importante na dinâmica local e principalmente no fenômeno de ressurgência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Assim, a região de Cabo Frio se destaca como uma das mais importantes e regulares de ressurgência da ACAS no Brasil, onde a água mais fria, densa e rica em nutrientes ressurgem à superfície, tornando o ambiente bastante favorável à elevada produtividade local (Valentin, 1984).

Desenvolver um estudo detalhado nesta área significa determinar o quão influente é este fenômeno para a produtividade marinha local em termos econômicos. Conseqüentemente, o estudo dos processos de acumulação, transformação e preservação da matéria orgânica ao longo do tempo, podendo fornecer informações para o entendimento da evolução sedimentar das rochas potencialmente precursores de hidrocarbonetos.

Esta dissertação é parte integrante do Projeto “Produtividade na ressurgência costeira de Cabo Frio e seu potencial de acúmulo de matéria orgânica” (UFRJ/PETROBRAS n° 12424), que tem por objetivo estabelecer ligação dos chamados eventos oceanográficos relacionados à produtividade primária e à acumulação e preservação de matéria orgânica, levando-se em consideração a qualidade e as transformações da matéria orgânica produzida atualmente e no passado geológico, possibilitando uma modelagem de depósitos ricos em matéria orgânica e

sua aplicação na construção de modelos preditivos a serem aplicados em outros períodos geológicos.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é caracterizar os processos biogeoquímicos que estão ocorrendo com a matéria orgânica nos sedimentos superficiais e em testemunhos da área de ressurgência de Cabo Frio/RJ, Brasil.

1.1.1 Objetivos específicos

- determinar a produtividade e condição redutora da matéria orgânica através dos teores de carbono orgânico total (COT) e enxofre (S);
- identificar a qualidade da matéria orgânica, quantificando os biopolímeros (carboidratos totais, proteínas totais e lipídios totais) e o carbono biopolimérico (BPC);
- quantificar a atividade das enzimas esterases (EST) na quebra da matéria orgânica e da atividade do sistema transportador de elétrons (ASTE);
- determinar a biomassa bacteriana (COB) degradadora da matéria orgânica;
- determinar a via de disponibilização da matéria orgânica identificando os metabolismos microbianos responsáveis pela degradação da matéria orgânica, através da atividade respiratória bacteriana (ARB).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região Cabo Frio, na plataforma continental SE, estado do Rio de Janeiro, Brasil. A largura da plataforma continental na região do Cabo Frio é de aproximadamente 80 km e concomitante a esta fisiografia, as isóbatas de 50m e 100m estão a 5 km e 7 km da costa, respectivamente (Valentin & Kempf, 1977; Valentin *et al.*, 1987), ressaltando no forte gradiente batimétrico próximo à costa. Situa-se na parte norte da Bacia de Santos, próximo do limite desta com a Bacia de Campos (Figura 1).

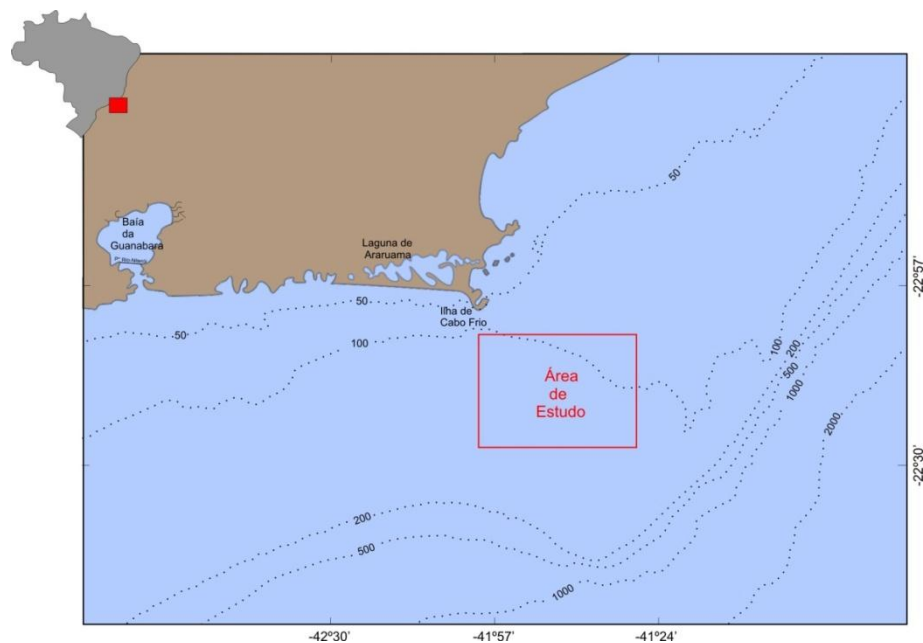


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo indicando as linhas batimétricas na costa de Cabo Frio (modificado de Artusi, 2007).

2.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

O clima local apresenta características diferenciadas em relação às demais regiões vizinhas, constituindo um verdadeiro enclave de clima seco em meio a um contexto climático regional úmido, que é caracterizado por passagens de sistemas frontais meteorológicos que influenciam o regime de ventos locais, mudando sua direção (Nordeste – Sudoeste) (Turcq *et al.*, 1999).

Segundo Barbière (1999), a ressurgência costeira e a ocorrência frequente de ventos Nordeste, quentes e secos, são os principais fatores responsáveis pela baixa taxa de precipitação na região Sul - Sudeste perto de Cabo Frio. Dentre as regiões da costa fluminense, a região de Cabo Frio apresenta as menores taxas de precipitação, atingindo um total <1.000mm anual.

A variação sazonal da precipitação moderada está associada a presença da massa de ar tropical atlântica e as passagens frequentes de frentes polares atlântica, que cria um regime de chuvas bem distribuídas, com precipitação anual, sem uma estação seca pronunciada Barbière (1999).

Barbière (1999) ainda afirma que a área de Cabo Frio, sob influência da ressurgência costeira, a pluviosidade é um pouco maior durante a primavera, atingindo entre 28% e 32% do total anual, e no inverno cai para 18% do total anual. Durante o mês mais chuvoso, dezembro, a precipitação não ultrapassa 114 milímetros e durante o mês mais seco, agosto, a precipitação não excede 42 milímetros.

Segundo Turcq *et al.* (1999), durante a primavera e o verão, os ventos dominantes, relacionados aos ventos alísios, sopram de Nordeste. No outono e inverno, o regime de vento Nordeste é perturbado pela passagem na troposfera média e alta de ondas meridianas sucessivas correspondentes ao nível baixo da atmosfera e sistemas frontais, que inclui os ventos de Sul, Sudeste e Sudoeste. No entanto, este regime de vento pode ser modificado por uma anomalia oceânica, originada no Oceano Pacífico, conhecido com fenômeno “El Niño”. Durante os eventos de “El Niño”, as águas costeiras frias do Norte do Peru (Corrente de Humboldt) são substituídas pelas águas quentes (Philander, 1983).

Os fortes eventos de "El Niño" levam a importantes anomalias nas chuvas e mudanças nos padrões de ventos da América do Sul. Estas perturbações são geradas por dois processos principais:

(a) Modificação na circulação de Walker, devido a um deslocamento em direção ao Oceano Pacífico da zona de convecção, normalmente centrada na Amazônia, que promove chuvas fortes no norte do Peru e poucas chuvas na Amazônia e o Altiplano da Bolívia.

(b) Um bloqueio nos sistemas frontais polares em uma zona que se estende do sul do Peru ao sul do Brasil, relacionado a um aumento da corrente de jato subtropical. Esta situação provoca elevada pluviosidade na zona de bloqueio e seca para o norte, bem como modificação dos padrões de ventos e, conseqüentemente, na dinâmica da direção do vento litoral ao longo da parte central da costa brasileira.

2.3 AMOSTRAGEM

A coleta de amostras com *Box core* foi realizada no período de 26 de abril a 01 maio de 2010, sendo realizada em 12 estações (Figura 2), e no período de 27 a 31 de janeiro de 2010, a amostragem de testemunhos *Kullemberg*, onde foram realizadas em 2 das 12 estações de sedimento superficial, tendo sido recuperado colunas sedimentares variando entre 3,7 e 4,4m de profundidade (CF10-01C – 3,7m; CF10-15C – 4,4m) (Figura 3). A resolução de trabalho adotada para todas as amostras foi de 10 cm. As coletas de sedimento superficial e testemunhagens foram realizadas em cima do banco lamoso na região de Arraial do Cabo/RJ. Os *Kullembergs* foram amostrados utilizando amostrador gravitacional e a sequência de coleta pode ser observada nas figuras 4, 5 e 6 (Tabela 1).

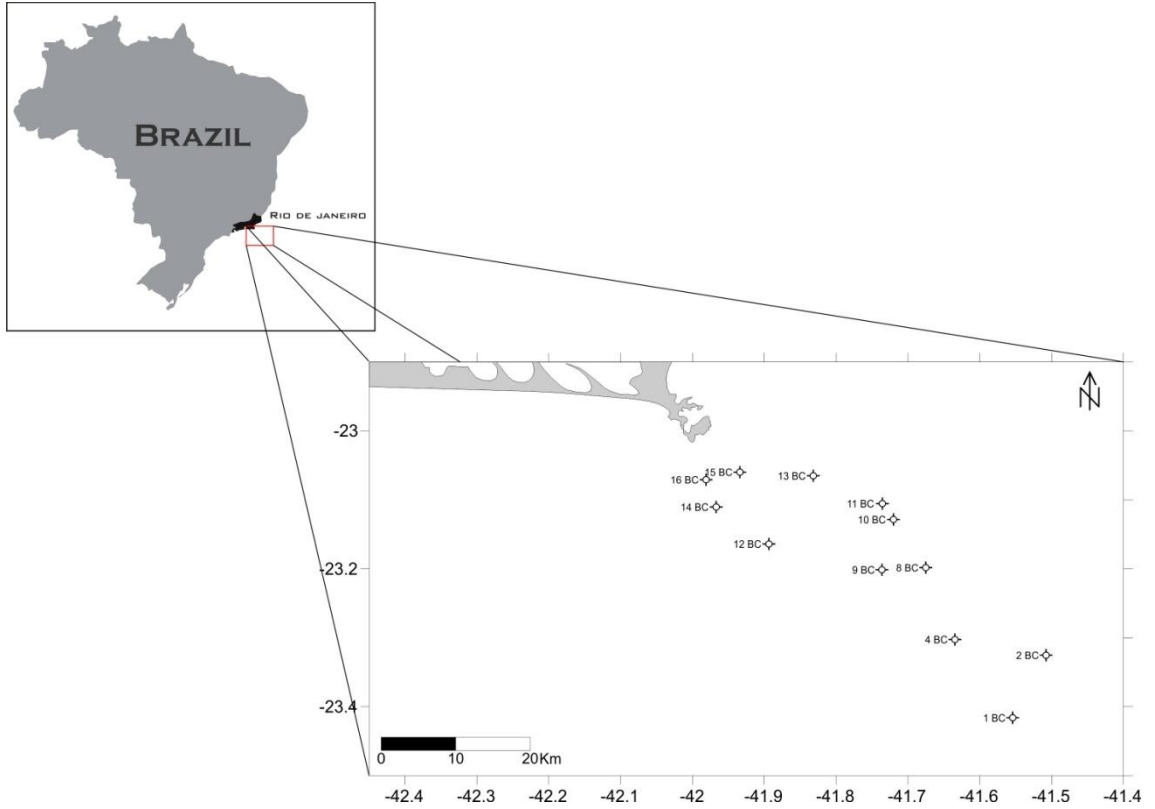


Figura 2: Mapa de localização da amostragem por Box Cores, Cabo Frio/RJ.

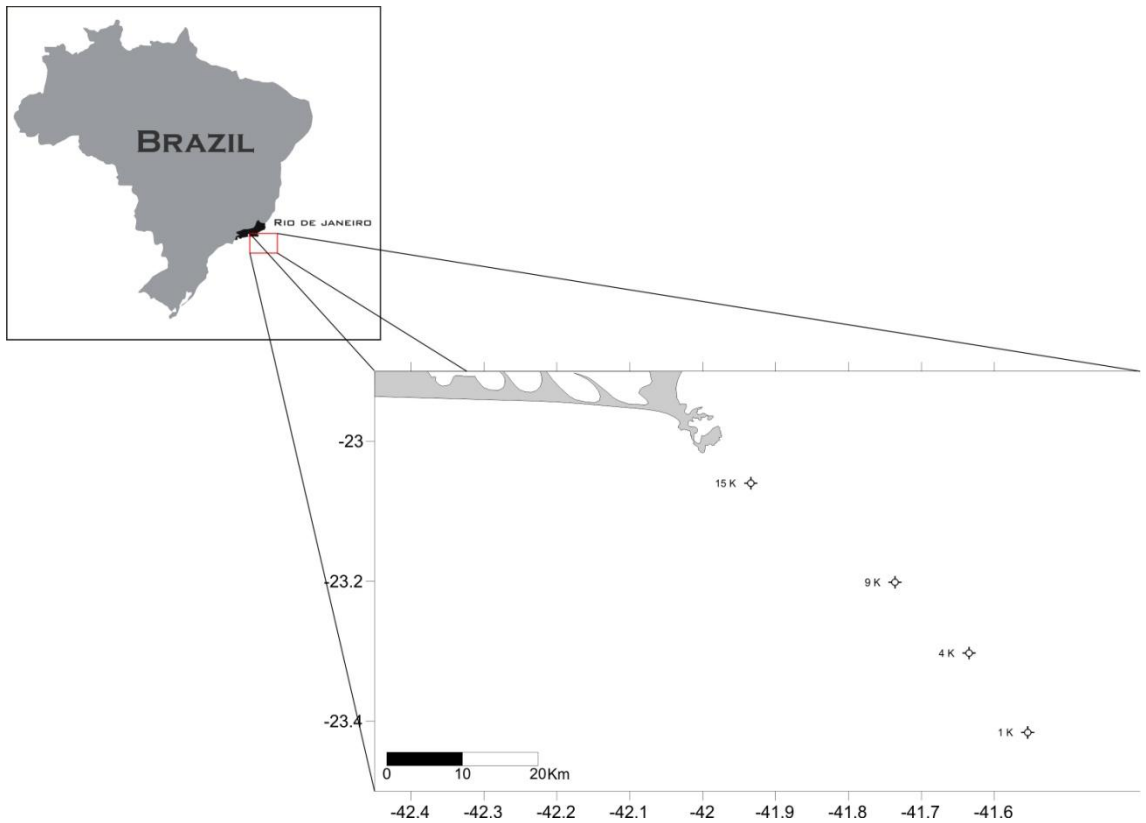


Figura 3: Mapa de localização dos pontos de amostragem dos Kullebergs.

Tabela 1: *Coordenadas dos pontos de amostragem.*

Amostragem	Latitude	Longitude
BC 1 / CF10 - 01C	-23,416	-41,554
BC 2	-23,325	-41,508
BC 4	-23,302	-41,635
BC 8	-23,198	-41,675
BC 9	-23,201	-41,736
BC 10	-23,128	-41,720
BC 11	-23,105	-41,736
BC 12	-23,164	-41,894
BC 13	-23,065	-41,832
BC 14	-23,110	-41,967
BC 15 / CF10 - 15C	-23,060	-41,934
BC 16	-23,071	-41,981

**Figura 4:** *Embarcação (à esquerda) e equipamentos utilizados para a coleta dos Kullebergs (à direita).*



Figura 5: *Seqüência de lançamento e retirada dos Kullebergs.*



Figura 6: Abertura do Kulleberg e retirada das amostras das bases de cada metro.

2.4 PREPARO DAS AMOSTRAS

As amostras de *Kulleberg* e *Box Core* foram acondicionadas em um contêiner refrigerado a 4°C, onde os testemunhos foram abertos e fatiados a cada dez centímetros. Todas as amostras foram devidamente identificadas e preservadas em sacos de polipropileno. Uma alíquota das amostras sedimentares foi congelada para posteriores análises de carbono orgânico total (COT), enxofre (S), carboidratos totais (CHO), proteínas totais (PTN) e lipídios totais (LIP). Outra alíquota foi mantida apenas refrigerada para as análises microbiológicas de atividades enzimáticas (desidrogenase e esterase) e atividade respiratória bacteriana (ARB). A alíquota restante foi preservada em formol 5% para posterior determinação da biomassa bacteriana (contagem do número de células bacterianas).

Para as análises microbiológicas e de geoquímica orgânica foram adotadas amostragens a cada dez centímetros nos testemunhos. Para as análises de atividades enzimáticas (desidrogenase e esterase) foram utilizado apenas as bases de cada metro dos testemunhos.

2.5 PARÂMETROS GEOQUÍMICOS

2.5.1 Determinação do carbono orgânico total (COT) e enxofre (S)

Em todas as amostras, o COT e S foram determinados através de análises elementares no aparelho SC 144 da LECO, após acidificação para remoção de carbonatos. Este método segue as normas de referência da ASTM D 4239 (*American Society for Testing and Materials – ASTM, 2008*) e NCEA-C-1282 (*United States Environmental Protection Agency-US EPA, 2002*).

O analisador SC-144DR é um instrumento de quantificação simultânea de carbono orgânico e enxofre através de um detector de infravermelho. Desse modo é possível quantificar esses elementos em vários materiais como: coque, hulha e óleos, e alguns materiais inorgânicos como: solo, rocha calcária, cimento e sedimentos.

As amostras, previamente descarbonatadas, são levadas a um forno numa atmosfera de oxigênio (super seco) à temperatura de 1350°C. A combinação temperatura e fluxo de oxigênio levam a amostra à combustão total. Todos os elementos contidos na amostra sofrem, durante este processo, uma oxidação. A leitura dos gases formados (carbono e enxofre oxidados formam, respectivamente CO₂ e SO₂) é feita pela célula de infravermelho.

2.5.2 Preparação das amostras (Descarbonatação)

São pesados 0,26g de amostra *in natura*, previamente pulverizada, num cadinho de porcelana filtrante. Após a pesagem, as amostras são acidificadas com HCL 1:1 a frio para eliminação de todo carbonato. Em seguida inicia-se a lavagem com água destilada quente, para eliminação dos cloretos. Continua-se à lavagem com água destilada em temperatura ambiente, até que o pH fique próximo de seis (6). As amostras devem ser secas em estufa. Após o resfriamento, os cadinhos são pesados novamente.

2.5.3 Determinação dos biopolímeros

2.5.3.1 Proteínas totais (PTN)

As proteínas foram analisadas por método colorimétrico e expressas em equivalentes aos padrões de albumina bovina, segundo Hartree (1972), modificado por Rice (1982).

Após pesar 1,0 g de sedimento em tubos de ensaio (triplicata) e adicionar solução alcalina (NaOH 0,2 N), agita-se os tubos de ensaio utilizando um vórtex e centrifuga por 5min a 2500rpm.

Após centrifugação, adiciona-se solução de Sulfato de cobre / tartarato de sódio e potássio (solução mista) e solução diluída de Folin em cada tubo seguindo a ordem de adição do reagente anterior. Após essa etapa é determinada a densidade ótica (D.O.) das amostras a 650nm, seguindo o procedimento de uso do espectrofotômetro.

2.5.3.2 Carboidratos totais (CHO)

Os conteúdos de carboidratos foram extraídos e analisados nas amostras de sedimento úmido expresso com o padrão equivalente a glicose, baseado no princípio do método de Dubois *et al.* (1956).

Em tubos de ensaio (triplicata) adiciona-se solução de fenol destilado a 5% e agita-se no vórtex. Cuidadosamente adiciona-se ácido sulfúrico concentrado. As amostras vão para o agitador e para a centrífuga por 5min a 2500rpm. Separa-se o sobrenadante. É determinada a absorvância da amostra à 485nm em espectrofotômetro, em triplicata. Os resultados são quantificados em equivalentes de glicose, onde é feita a curva padrão.

2.5.3.3 Lipídios totais (LIP)

Os lipídeos totais foram extraídos das amostras de sedimento úmido em triplicata com clorofórmio – metanol, segundo Bligh & Dyer (1959), e determinados por métodos

colorimétricos, segundo Marsh & Weinstein (1966), e expressos em equivalente aos padrões de tripalmitato.

Após extração, as amostras são agitadas no vórtex e depois centrifugadas. Despreza-se o sobrenadante hidro-alcoólico e avapora o resíduo hidrofóbico em banho de areia a 80-100°C. Adiciona-se ácido sulfúrico concentrado. Após a acidificação, os tubos são colocados em banho de areia a 180-200°C. Centrifuga-se as amostras. No espectrofotômetro determina-se a absorvância de 375nm para a leitura. Os resultados são quantificados em equivalentes de tripalmitato, onde é feita a curva padrão.

O carbono orgânico biopolimérico (BPC) é obtido pela soma do equivalente em carbono total de carboidratos, proteínas e lipídios (Fabiano *et al.*, 1995).

2.6 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

2.6.1 Atividades das enzimas esterases bacterianas (EST)

A exoenzima esterase (EST) foi quantificada em triplicata através de espectrofotometria óptica baseada no método descrito por Stubberfield & Shaw (1990). O princípio do método é baseado na estimativa da hidrólise da solução de diacetato de fluoresceína por enzimas esterases (lipases, amilases, proteases). O produto desta reação é a fluoresceína, um composto fluorescente, produzido em amostras de sedimento.

Para a quantificação da atividade enzimática, as alíquotas das amostras foram inicialmente tratadas com tampão fosfato pH 7.6 e incubadas no shaker rotatório com diacetato de fluoresceína a temperatura ambiente. A reação é interrompida em gelo fundente. Uma alíquota da solução é retirada e colocada para centrifugar. A última etapa consistiu na medição da densidade óptica do sobrenadante límpido a 490 nm e a concentração determinada em relação a uma curva de calibração, com padrões de fluoresceína. Seu resultado é expresso em $\mu\text{g fluoresceína.h.g}^{-1}$ (de peso seco para sedimento).

2.6.2 Atividade do sistema transportador de elétrons bacteriano (ASTE)

A concentração da enzima desidrogenase foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Trevors (1984), e utilizada no cálculo da atividade do sistema transportador de elétrons (ASTE), segundo Houry- Davignon & Relexans (1989).

O método é baseado na mudança de coloração do 2-[(p-iodofenil)-3-(p-nitrofenil)-5-fenil tetrazolium] como acceptor artificial de elétrons. O produto da reação é o INTF (cloreto de iodonitrotetrazolium formazan).

Em triplicata, alíquotas das amostras (1g) foram incubadas com solução de INT 8mM em vidro escuro e incubadas à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Após o tempo de reação, a extração foi realizada adicionando-se metanol (P.A.) e homogeneizada vigorosamente. A porção líquida de cada frasco foi centrifugada em tubos de ensaio para a decantação do material particulado. A quantificação foi realizada através de espectrofotometria molecular (475 nm), realizada na ausência de luz, por se tratar de material fotolável, através da obtenção de uma curva de calibração com padrões expressos em $\mu\text{l O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ ml}^{-1}$ ou $\mu\text{l O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

2.6.3 Carbono orgânico bacteriano (COB) e biomassa bacteriana

O número de células bacterianas totais foi determinado em todas as amostras com microscópio de epifluorescência (Zeiss, mod. Axiosp 1), e utilizada a estimativa de biomassa bacteriana (carbono orgânico bacteriano - COB), segundo o cálculo proposto por Carlucci *et al.* (1986).

O sedimento (1g) é fixado com formol a 4% em frasco âmbar. Depois de agitado, uma alíquota dessa amostra é então retirada e diluída em diferentes concentrações com H₂O deionizada até que seja possível a leitura. Adiciona-se solução de laranja de acridina (75 μl). Dessa nova solução retira-se uma alíquota que é então filtrada na membrana nuclepore de policarbonato preta (0,22 mm de porosidade e diâmetro de 25 mm preta). Em uma lâmina previamente limpa com acetona, pinga-se óleo mineral e coloca-se cuidadosamente por cima a membrana preta. Sobre a membrana pinga-se óleo mineral e coloca-se a lamínula, previamente limpa com acetona, sobre a membrana. Leva-se ao microscópio de

epifluorescência. Ao selecionar a objetiva de 100X usa-se sempre o óleo de imersão. Procura-se o foco com a luz branca, e uma vez selecionado, fecha-se à passagem de luz branca e abre-se a passagem para a luz fluorescente (azul). As células são contadas em 30 campos (Kepner, Jr. & Pratt, Jr. 1994; Carlucci *et al.* 1986).

2.6.4 Atividade respiratória bacteriana (ARB)

As atividades respiratórias bacterianas foram realizadas por testes qualitativos em meios de cultura específicos, seguindo a metodologia proposta por Alef & Nanippieri (1995). Para a aerobiose e fermentação são utilizados meios de cultura contendo bactopectona; Ágar em água do mar a 75%; e azul de metileno (solução saturada). A aerobiose é confirmada pela mudança de coloração (azul para parda) no topo e meio de cultura sólida, indicando crescimento bacteriano. Na fermentação, o meio se torna esverdeado.

Para desnitrificação foi preparado um meio de cultura contendo NaNO_2 ; bactopectona em água do mar à 75%. Para cada tubo de ensaio se adiciona um tubo de Dühran invertido para verificar a formação de gases (N_2).

Para a sulfato-redução foi utilizado um meio de cultura contendo lactato de sódio; ácido ascórbico; sulfato de magnésio; fosfato de potássio; sulfato ferroso amoniacal; cloreto de sódio; resarzurina sódica; cisteína e água deionizada. A sulfato-redução é confirmada pela precipitação de sulfetos.

2.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para todas as amostras foram calculadas as médias e desvio padrão em cada análise. Foram consideradas as 12 amostras de sedimento superficial e os 2 testemunhos, considerando as variáveis (COT, S, ASTE, EST, CHO,PTN, LIP, BPC, nº cel).

Para a análise de agrupamento dos *Boxes Core* e *Kullebergs* foi utilizado como estratégia de agrupamento sendo empregado o método da variância mínima, também conhecido como método de Ward. Os agrupamentos das associações das estações de amostragem foram identificados através do coeficiente de distância de Manhattan Total, onde o valor zero representa a máxima similaridade. Neste estudo, optamos pelo método de Ward

associado ao coeficiente de distância de Manhattan Total, porque esta combinação produziu coeficientes de correlação superiores a 0,6 considerados significativos e, portanto, permitindo validar os agrupamentos encontrados no dendrograma. Todo o tratamento estatístico foi realizado no programa Statistica 7.0 ©.

2.8 PREPARAÇÃO DOS MAPAS NO PROGRAMA SURFER

Os mapas de sedimentos superficiais foram preparados usando distância inversa a uma potência. Esse método extrapola para fora dos pontos amostrados criando uma superfície com mesmo onde não há dados, criando uma área além do amostrado interpolando os pouco dados existentes.

O método de *Inverse Distance to a Power* é um interpolador de média ponderada, e pode ser tanto uma exata ou um interpolador de alisamento.

Os dados são ponderados durante a interpolação de tal modo que a influência de um ponto em relação a outro diminui com a distância a partir do nó de grade. A ponderação é atribuída a dados através do uso de um “poder de ponderação” que controla como os fatores de ponderação deixam como distância, a partir de um aumento de nó de grade. Quanto maior o poder de ponderação, menor efeito dos pontos distantes a partir do nó da grade durante a interpolação. À medida que aumenta a potência, o valor da grade do nó se aproxima do valor do ponto mais próximo. Para uma menor energia, os pesos são mais uniformemente distribuídos entre os pontos de dados vizinhos.

Normalmente este método se comporta como um interpolador exato. Quando calculado um nó de rede, os pesos atribuídos aos pontos de dados são frações, e a soma de todos os pesos é igual a 1,0. Quando uma observação particular é coincidente com um nó de rede, a distância entre a observação e o nó de grade é 0,0, e essa observação é dado um peso de 1,0, enquanto todas as outras observações são dadas pesos de 0,0. Assim, o nó de rede é atribuído o valor da observação coincidentes. O parâmetro de alisamento é um mecanismo para o amortecer este comportamento. Quando você atribui um parâmetro de alisamento não-zero, a nenhum ponto é dado um peso esmagador de modo que a nenhum ponto é dado um fator de ponderação igual a 1,0.

Uma das características do método é a geração de “miras” em torno da posição de observações dentro da área de grade. Pode-se atribuir um parâmetro de alisamento durante o método para reduzir o efeito “olho de boi”, suavizando a grade interpolada.

Inverse Distance to a Power é um método muito rápido. Com menos de 500 pontos, você pode usar todo tipo de pesquisa de dados e recursos de grade rapidamente (Davis, 1986; Franke, 1982).

3. RESSURGÊNCIA

O fenômeno da ressurgência é caracterizado pelo afloramento de águas profundas, frias e ricas em nutrientes em determinadas regiões dos oceanos. Criando-se assim condições favoráveis a uma elevada produtividade primária e, em consequência, toda cadeia alimentar é beneficiada.

Este fenômeno é causado por uma associação de diferentes fatores, sejam físicos, devido à quebra de plataforma continental e morfologia da plataforma continental, devido a efeitos topográficos do fundo do oceano (como montanhas e cordilheiras no fundo); meteorológicos, devido a vórtices ciclônicos (ventos gerados por ciclones), devido a ondas internas e outros tipos menos comuns. (Silva, 2006; Valentin, 1994).

Além desses fatores, segundo Valentin (1994), a região de Cabo Frio possui duas características topográficas que facilitam o afloramento das águas profundas: 1) mudança na orientação da linha de costa de Norte-Sul para Leste-Oeste, criando assim uma divergência entre a costa e a Corrente do Brasil; 2) a plataforma continental passa de larga e suave no Norte para estreita e íngreme ao Sul de Cabo Frio, aproximando as isóbatas de 50 e 100 metros da costa, suavizando o talude.

A ressurgência registrada na região de Cabo Frio durante a primavera e o verão se caracteriza pela alta produção primária nova, que supera amplamente os níveis de produção primária regenerada, sustentada pela entrada de nitrogênio (e outros elementos) predominantemente na forma química de nitrato (NO_3^-), oriundo de águas frias situadas a mais de 200 metros da superfície, portanto, fora da zona eufótica. O nitrogênio envolvido na produção regenerada encontra-se nas diversas formas químicas inorgânicas (amônia, nitrato e nitrito) e orgânicas (uréia e aminoácidos), sem predominância de determinada espécie química. Todavia, a amônia, produto de excreção de animais, parece representar um papel relevante na produção regenerada devido à sua imediata absorção e assimilação pelo fitoplâncton, acarretando um menor tempo de residência do elemento na coluna d'água. (Pereira & Soares-Gomes, 2009).

Gonzalez-Rodriguez *et al.* (1992) identificaram três diferentes fases para o fenômeno de ressurgência em Cabo Frio: a “fase de upwelling”, quando águas frias e ricas em nutrientes afloram a superfície; a “fase produtiva”, caracterizada pela alta biomassa fitoplanctônica e baixa concentração de nutrientes; e a “fase de downwelling”, caracterizada pela diminuição da biomassa fitoplanctônica e concentração de nutrientes.

As principais regiões de ressurgência estão situadas ao longo do litoral oeste dos continentes, onde atuam ventos predominantemente oriundos da circulação atmosférica geral, em torno de centros de alta pressão situada no meio dos oceanos, pela intensidade e extensão do fenômeno e pelas suas consequências sobre as atividades pesqueiras, as regiões de ressurgência mais conhecidas são no Oceano Pacífico, na região costeira do Peru e da Califórnia; no Oceano Atlântico, na região da África do norte (do Marrocos ao Senegal) e do Sul (região do Cabo); e no Oceano Índico na região costeira da Somália, onde sopram fortes ventos de monções. Sendo este primeiro destaque por deter uma das maiores produções de pescado no mundo. As áreas de ressurgência representam apenas 1% do oceano, porém suportam mais de 50% da produção pesqueira mundial (Rodrigues, 1973).

Nos mares de regiões tropicais, podem ser identificadas três grandes camadas ou estratos de água superpostos: a camada superior da zona eufótica, onde a luz é abundante, mas os nutrientes são limitantes devido ao consumo pelo fitoplâncton e a baixa taxa de reposição; uma camada intermediária, inferior à zona eufótica, na qual a luz passa a ser escassa pela profundidade e uma camada afótica, regiões mais profundas dos oceanos que são ricas em nutrientes disponíveis. Em presença de pouca luz nessas regiões, os vegetais marinhos (algas) não podem realizar a fotossíntese, diminuindo o consumo destes nutrientes e “estocando-os” na coluna d’água. (Silva, 2006)

Além de promoverem o desenvolvimento do plâncton (algas, bactérias, protozoários), base constituinte da cadeia alimentar nos oceanos, os nutrientes carregados pelas águas profundas são importantes fontes de alimento para peixes e outros organismos marinhos e contribuindo assim para o desenvolvimento das populações. (Silva, 2006).

3.1 IMPORTÂNCIA DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA

Pereira e Soares-Gomes (2009) definem produtividade primária como a taxa de formação de substâncias orgânicas ricas em energia a partir de material inorgânico. Apontam ainda os organismos fotossintetizantes e as bactérias quimiossintetizantes como principais responsáveis pela produção primária nos oceanos. Sendo a fotossíntese o principal processo responsável pela síntese autotrófica de alimento que sustentam as principais cadeias tróficas dos oceanos.

A quantidade total de matéria orgânica fixada por fotossíntese é denominada produção primária bruta. Como parte desta produção é usada pelos vegetais para manutenção de seus próprios processos vitais, uma quantidade menor fica disponível para ser transferida ou usada por outros organismos não fotossintetizantes. A produção primária líquida é o termo que denomina a quantidade da produção total após as perdas pela respiração, podendo ser disponibilizada para o sustento dos outros níveis tróficos. Além da energia luminosa outros elementos são essenciais para a manutenção, crescimento e reprodução dos organismos marinhos, como o nitrogênio, carbono e o fósforo, os quais se incorporam a substâncias orgânicas de tecidos animais e vegetais. A decomposição bacteriana irá atuar na liberação das formas inorgânicas destes elementos essenciais, tornando-os novamente disponíveis à assimilação por organismos autotróficos (Pereira e Soares-Gomes 2009).

Uma visão tradicional sobre a importância da atuação das bactérias nos ecossistemas marinhos enfatiza a decomposição da matéria orgânica e a remineralização dos nutrientes nos processos biogeoquímicos. As bactérias utilizam cerca da metade da matéria orgânica produzida pelo fitoplâncton (Bidle & Azam, 1999) e estudos recentes mostram que as bactérias podem acelerar dramaticamente a dissolução das carapaças de sílica das diatomáceas, tendo assim papel crucial no controle da produtividade do fitoplâncton e da reciclagem e utilização de sílica e carbono nos oceanos (Bidle & Azam, 1999). Além da fundamental importância nos ciclos biogeoquímicos, as bactérias podem ter também participação expressiva na assimilação de matéria orgânica dissolvida e na transferência de carbono orgânico particulado para os níveis tróficos superiores, através da alça microbiana (Azam *et al.*, 1983; Sherr & Sherr, 1988).

Estudos recentes mostram também que as bactérias possuem um papel importante na formação de agregados de detritos orgânicos e inorgânicos, a “neve marinha” (Shanks &

Walters, 1997; Rath *et al.*, 1998), constituindo importante fonte de matéria orgânica para a comunidade planctônica e bentônica.

Aproximadamente 90% da biomassa gerada na zona fótica das regiões oceânicas é decomposta antes de chegar à zona afótica. Em torno de 10% desta biomassa atinge águas mais profundas, onde são decompostas. Somente 1% da produção da zona fótica atinge o substrato. Apesar disto, esse processo chamado “bomba biológica”, transporta carbono e nutrientes da superfície da zona eufótica dos oceanos e os concentra em águas e sedimentos profundos (Figura 7) (Spokes, 2003).

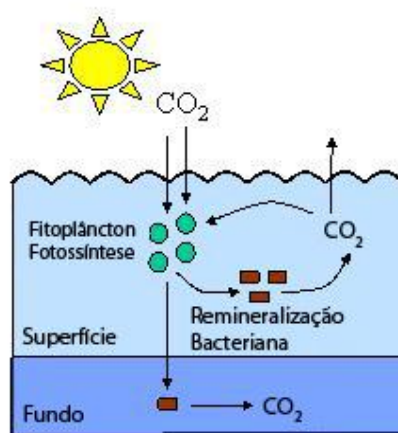


Figura 7: Desenho esquemático demonstrando uma alça microbiana representando uma Bomba Biológica (Spokes, 2003).

Desta forma, em regiões costeiras, mais rasas, o enriquecimento da zona eufótica ocorre pela regeneração bêmica e ressuspensão dos sedimentos pela turbulência das águas (ventos, correntes de maré, ondas); pela contribuição continental nas proximidades de estuários e desembocaduras de grandes rios e também em fenômenos de ressurgências costeiras como as que ocorrem na região de Cabo Frio/RJ (Silva, 1973; Valentin, 1989).

3.2 CORRENTES

Para entendermos melhor como funcionam as principais correntes marinhas, é preciso entender como funciona o sistema de correntes superficiais geradas por ventos (transporte de Ekman) associado à força de Coriolis, resultante do movimento de rotação da Terra. Na figura

massa de água superficial rumo ao oceano aberto permitindo a intrusão de água profunda na plataforma continental (Figura 9) (Valentin, 1994).

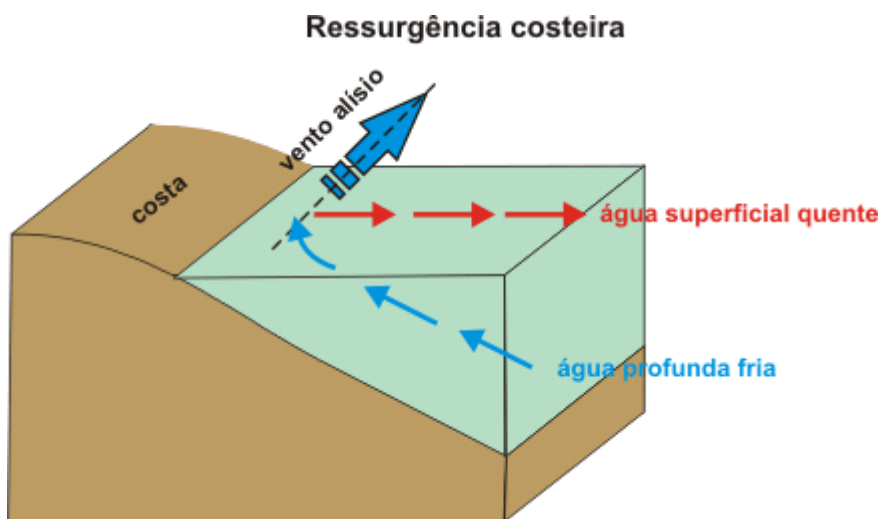


Figura 9: Desenho esquemático representando o fenômeno de ressurgência costeira (Alhanati, 2012).

Diferentemente de outros locais onde há ocorrência do fenômeno da ressurgência que ocorre com mais frequência na costa oeste dos continentes, no Brasil este fenômeno ocorre na margem leste. Nesta região da costa brasileira uma mudança na orientação na linha de costa de Norte-Sul para Leste-Oeste, cria uma divergência entre a costa e a Corrente do Brasil (CB). Além disso, a plataforma continental passa de larga e suave ao Norte para estreita e íngreme ao Sul de Cabo Frio, oferecendo as condições favoráveis para este tipo de evento (Ré, 2000).

Esta região favorável é delimitada por Cabo Frio/RJ e o Cabo de Santa Marta/SC, onde os ventos de nordeste tornam – se paralelos à linha de costa, sendo mais evidente na região de Cabo Frio/RJ, e onde é observado o núcleo principal do afloramento da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), massa de água a qual caracteriza a ressurgência no Brasil (Ré, 2000).

3.3 MASSAS D'ÁGUA

A classificação tradicional do Departamento de Hidrografia da Marinha do Brasil para massas d'água é apresentada através da tabela Temperatura/Salinidade (Tabela 2) (Pereira *et al.* 2008).

Tabela 2: Temperatura e salinidade características das massas d'água de Cabo Frio/RJ.

Tipos de massas d'água	T°C	S‰
Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	$T < 18$	$S < 36$
ACAS / Água Costeira	$18 < T < 20$	$35,4 < S < 36$
Água Costeira	$T > 20$	$S < 35,4$
ACAS / Água Tropical	$18 < T < 20$	$S > 36$
Água Costeira / Água Tropical	$T > 20$	$35,4 < S < 36$
Água Tropical	$T > 20$	$S > 36$

A região de Cabo Frio é um ponto de encontro de três massas de água: Água Costeira (AC) e Água Tropical (AT) na superfície, e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na parte inferior (Aidar *et al.*, 1993; Valentin, 1987). Sob ventos Norte-Nordeste, que move as águas superficiais em direção off-shore, e devido à ação da força de Coriolis, que resulta na ascensão da ACAS. Essa situação muda quando frentes frias do sul chegam à área. As massas de água superficiais predominantes neste caso são AC e AT (Valentin, 1987). A figura 10 apresenta uma imagem de satélite, onde foi feita uma estimativa da temperatura na superfície do oceano na região de Cabo Frio, destacando a ocorrência do fenômeno da ressurgência.

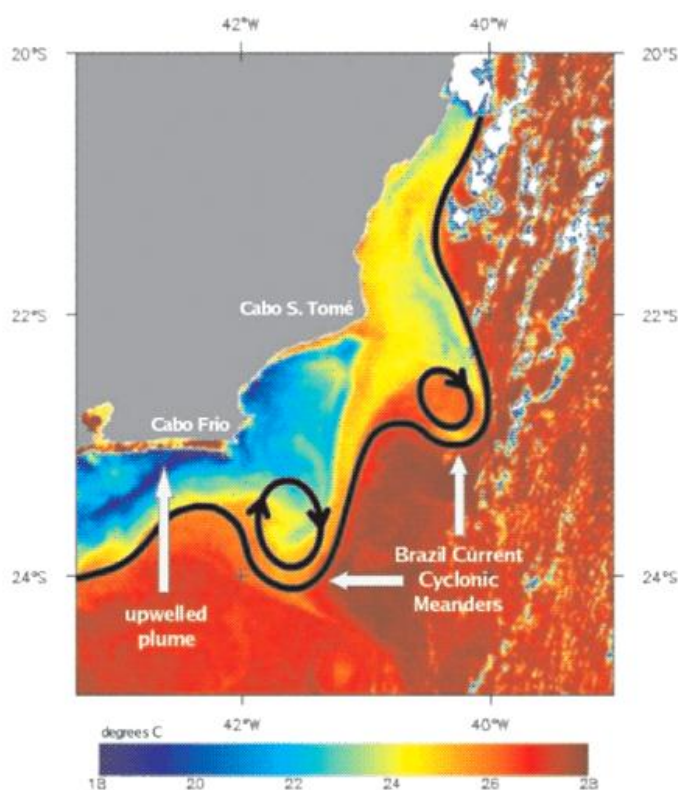


Figura 10: Imagem do fenômeno de ressurgência de Cabo Frio e da corrente do Brasil. Imagem fornecida por J.A. Lorenzetti (INPE, Brasil) in Mahiques, *et al.* (2005).

4. COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS

A matéria orgânica sedimentar abrange uma mistura de compostos constituintes dos tecidos e detritos dos organismos. Consiste de moléculas orgânicas (sob a forma de monômeros e polímeros), derivadas direta ou indiretamente da parte orgânica dos organismos, compostas pelos elementos C - carbono, H - hidrogênio, O - oxigênio, N - nitrogênio e S - enxofre, excluindo-se esqueletos, conchas, ossos, espinhos e dentes (Tissot & Welte, 1984).

O estudo da matéria orgânica, nos sedimentos e rochas sedimentares, tem por objetivo identificar os processos de interação entre a biosfera e geosfera, que controlam sua formação e acumulação. Os métodos utilizados para esta caracterização da matéria orgânica são variados e dependem amplamente da idade da matéria orgânica ou do tipo de sedimento, da resposta esperada na investigação e dos objetivos do estudo (Tyson, 1995).

As principais técnicas utilizadas para avaliar o conteúdo da matéria orgânica são: análise do carbono orgânico total (COT); análise do tamanho das partículas orgânicas; razão carbono:nitrogênio (principalmente em sedimentos recentes); análises elementares de carboidratos (para sedimentos antigos mas amplamente mais utilizada para sedimentos recentes); pirólise de Rock Eval, (principalmente para sedimentos antigos); composição isotópica do carbono; características bioquímicas como teores de lipídios, proteínas e carboidratos (principalmente para sedimentos recentes), técnicas de microscopia, análises dos fenóis derivados das ligninas e análises dos biomarcadores moleculares.

Segundo Tyson (1995) caracterizar a origem e qualidade da matéria orgânica é relevante uma vez que: determina sua reatividade bioquímica, de importância crucial para todos os processos diagenéticos iniciais, mediados pela atividade de bactérias; avalia o estado redox dos sedimentos e a qualidade dos detritos que servem como alimento para os organismos detritívoros; determina a quantidade e o tipo de hidrocarbonetos que podem ser gerados durante o soterramento e a maturação térmica; reflete o ambiente deposicional no qual os sedimentos foram depositados, como a salinidade, oxigenação, profundidade da água, distância do aporte fluvial e estado trófico.

A composição da matéria orgânica nos sedimentos pode ser classificada quanto a sua solubilidade em solventes orgânicos, em componentes solúveis (lábeis e refratários) e insolúveis (lábeis e refratários). Estes componentes apresentam concentrações relativas que variam em função da origem, degradação, utilização, transformação, acumulação e exportação. É composta essencialmente de uma fração autotrófica (matéria orgânica primária)

derivada da fotossíntese e uma fração heterotrófica (matéria orgânica secundária) (Danovaro *et al.*, 2000).

A matéria orgânica também pode ser classificada quanto ao seu aporte como autóctone ou alóctone. Esta classificação é mais utilizada para ambientes aquáticos e define matéria orgânica autóctone como aquela que é oriunda dos remanescentes do fitoplâncton e organismos que se alimentaram direta ou indiretamente destes; e matéria orgânica alóctone derivada de vegetais superiores usualmente transportados pela água e pelo vento de áreas adjacentes (Killops & Killops, 1993).

A fração lábil da matéria orgânica consiste na fração do carbono orgânico mais rapidamente disponível aos consumidores e é composta por moléculas simples e complexas de biopolímeros tais como lipídios, proteínas e carboidratos (Dell'Anno *et al.*, 2002). Estas três classes bioquímicas, convertidas para equivalentes de carbono, compõem o carbono biopolimérico (BPC) e correspondem de 10 a 70% de todo o carbono orgânico dos sedimentos marinhos e costeiros (Danovaro *et al.*, 2000).

Esta fração é mais abundante em sedimentos superficiais e em fases iniciais da diagênese, diminuindo sua concentração à medida que os processos de soterramento avançam (Tyson, 1995). A análise da quantidade e qualidade da matéria orgânica em sedimentos superficiais tem sido considerada de importância primordial na determinação da quantidade de material potencialmente disponível aos organismos consumidores afetando a estrutura e a saúde dos ambientes (Fabiano *et al.*, 1995).

Para os trabalhos de cunho geológico e geoquímico baseados em sedimentos antigos, o material lábil é aquele que sobrevive sob algumas circunstâncias especiais de preservação, como em fácies sedimentares desóxicas-anóxicas, e sua qualidade e estado de preservação não possuem relação direta ao potencial de metabolização. Esta fração do material metabolizável pode ser adsorvida, quimicamente ligada ou fisicamente capturada em protoquerogênio, querogênio ou constituintes mineralícos que restringem a atuação dos microrganismos protegendo a matéria orgânica da degradação, tornando-a recalcitrante (Tyson, 1995; Danovaro *et al.*, 2001a).

A determinação das concentrações da fração lábil, em sedimentos recentes, ainda é um tema difícil e um método universalmente aceito ainda não existe (Dell'Anno *et al.*, 2002). A maior parte dos trabalhos, que se destinam a avaliar o conteúdo do carbono orgânico lábil em sedimentos recentes, tem como objetivo mensurar e avaliar o valor nutricional da matéria orgânica (alimento) disponível aos consumidores e poucos tem documentado sua composição bioquímica. Além disso, menor atenção é dada acerca das variações sazonais na composição

bioquímica específica da matéria orgânica sedimentar, e estudos de mais de um ano são quase inexistentes (Fabiano *et al.* 1993).

A determinação desta fração da matéria orgânica sedimentar, em sedimentos recentes, faz uso de análises bioquímicas que dosam as três principais classes de biomoléculas os lipídios, proteínas e carboidratos (Tyson, 1995; Danovaro *et al.*, 2001b).

Os lipídios são um conjunto de substâncias químicas que, ao contrário das outras classes de compostos orgânicos, não são caracterizadas por apresentar algum grupo funcional comum e sim pela sua baixa solubilidade em água e alta solubilidade em solventes orgânicos como clorofórmio, hexano, tolueno e acetona (Killops & Killops, 1993). São os componentes estruturais mais abundantes das membranas celulares, pigmentos fotossintéticos e pigmentos acessórios (carotenóides), além da importante função de reserva energética (Black, 1999). Dentre os biopolímeros são os componentes mais refratários se acumulando nos sedimentos (Tyson, 1995). São classificados em cinco grupos Triacilgliceróis, Ceras, Glicerofosfolipídios, Esfingolipídios e Esteróides (Pelczar *et al.*, 1993).

As proteínas são as macromoléculas mais abundantes nas células vivas e constituem o equivalente em 50%, ou mais, de seu peso seco. Consistem de cadeias polipeptídicas muito longas tendo de 100 a 1000 unidades de aminoácidos unidos por ligações peptídicas. São solúveis em água e desempenham diversas funções biológicas dinâmicas como: transporte, catalisadoras e reguladoras (enzimas) e nutricionais (Nelson *et al.*, 2009). Aminoácidos livres também estão dispersos no sedimento, embora em menor quantidade que as proteínas, como os ácidos nucleicos (DNA e RNA) e ATP e NADP que contêm derivados de purinas e adeninas e fazem parte importantes reações bioquímicas como a fotossíntese (Killops & Killops, 1993).

De acordo com Tyson (1995) os componentes orgânicos ricos em nitrogênio e fósforo, como as proteínas, são mais rapidamente degradados nos sedimentos, pois seus componentes são preciosos para o desenvolvimento dos organismos sendo degradados preferencialmente antes dos carboidratos.

Os carboidratos, por sua vez, são as biomoléculas mais abundantes na natureza. O termo carboidratos denota hidratos de carbono, designação oriunda da fórmula geral $(CH_2O)_n$ apresentada pela maioria dessas moléculas. Podem ser divididos em três classes principais de acordo com o número de ligações glicosídicas: monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Os carboidratos desempenham função estrutural e energética (Nelson *et al.*, 2009; Pelczar *et al.*, 1993).

A celulose é o polissacarídeo estrutural mais abundante no mundo vegetal. É composta por uma substância fibrosa, resistente e insolúvel em água encontrada na parede celular dos vegetais e é composta por mais de 10000 unidades de glicose (Nelson *et al.*, 2009).

Segundo Dell'Anno *et al.* (2002) e Vezzuli & Fabiano (2006), a quantificação das concentrações de biopolímeros além de revelar a qualidade da matéria orgânica pode ser utilizada para se avaliar o estado trófico de um sistema aquático. De fato, devido à natureza mais conservativa do carbono orgânico sedimentar, em relação aos nutrientes na coluna d'água, mudanças no estado trófico dos sedimentos podem ser mais evidentes sobre a composição da matéria orgânica a médio e longo prazo.

As proteínas (PTN) são as fontes biológicas mais importantes de N e são consumidas antes dos carboidratos (CHO) (Vezzulli & Fabiano, 2006). Dessa forma, sistemas oligotróficos seriam caracterizados por uma rápida exploração de nitrogênio orgânico, resultando em uma baixa razão PTN:CHO (<1), juntamente com baixos valores de biopolímeros totais. Baseado nestas observações foram propostas duas classificações para a caracterização do estado trófico de ambientes marinhos e costeiros (Quadro 1).

Quadro 1: Classificação do estado trófico de ambientes marinhos e costeiros baseada na composição bioquímica dos sedimentos proposta por Dell'Anno *et al.*, 2002 e Vezzuli & Fabiano, 2006.

Dell'Anno <i>et al.</i> 2002			Vezzuli & Fabiano, 2006		
Sistema	PTN (mg.g ⁻¹)	CHO (mg.g ⁻¹)	Sistema	PTN (mg.g ⁻¹)	PTN:CHO
Hipertrófico	> 4,0	> 7,0	Hipertrófico	> 4,0	> 1
Eutrófico	1,5 - 4,0	5,0 - 7,0	Eutrófico	1,5 - 4,0	> 1
Oligo-mesotrófico	< 1,5	< 5,0	Oligo-mesotrófico	< 1,5	< 1

Os componentes orgânicos refratários são caracterizados por baixas taxas de degradação e representam uma fração relevante dos detritos sedimentares, que resistem à decomposição e tendem a se acumular nos sedimentos. As substâncias mais comuns deste tipo de matéria orgânica são os ácidos húmicos, fúlvicos e a matéria orgânica particulada (Fabiano *et al.*, 1995).

4.1 SEDIMENTAÇÃO E SUA IMPORTÂNCIA (ACUMULAÇÃO, PRESERVAÇÃO, DEGRADAÇÃO).

Ver (1999) aponta que existem diferentes entradas de carbono orgânico para a zona costeira, podendo ser de origem continental, carbono orgânico dissolvido ou particulado, e pelo transporte de carbono orgânico dissolvido a partir do fundo do oceano, trazido pela ressurgência costeira. Já a remoção do carbono orgânico dessa zona ocorreria através da perda para o oceano aberto, acúmulo em sedimentos costeiros, produzidos *in situ* ou de origem continental, respiração e remineralização.

O ciclo do carbono constitui um dos mais importantes ciclos biogeoquímicos, não só por sua complexidade e abrangência, como pela importância econômica, na compreensão da origem e ocorrência de combustíveis fósseis. A maior parte do carbono orgânico nos ambientes aquáticos ocorre sob a forma de carbono dissolvido, sendo o restante constituído de natureza particulada. O carbono orgânico dissolvido, composto principalmente por substâncias húmicas, proteínas, carboidratos e lipídios (Esteves, 1988), consiste no produto da decomposição de plantas e animais e da excreção destes organismos. Já o carbono orgânico particulado compreende a matéria orgânica em suspensão, incluindo a pequena fração representada pelos organismos vivos. Os maiores produtores de matéria orgânica nos ambientes aquáticos são os organismos fitoplanctônicos. Estima-se que a produção mundial de matéria orgânica de origem fitoplanctônica é de cerca de 550 bilhões de toneladas/ano, enquanto a matéria orgânica originada dos organismos bentônicos, por exemplo, não ultrapassa 200 milhões de toneladas/ano. No meio aquático, a produtividade primária é condicionada principalmente pela luminosidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes (especialmente fósforo e nitrogênio), embora seja afetada também por uma série de fatores ambientais, como salinidade e pH. No que diz respeito à temperatura e salinidade, as melhores condições ocorrem nas zonas de clima temperado, onde a produtividade é mais alta do que nos mares polares ou equatoriais. No caso do suprimento de nutrientes, a origem pode ser externa (descarga de grandes rios) ou interna (reciclagem da própria biomassa). No caso dos oceanos, a disponibilidade de nutrientes pode ser incrementada pelo fenômeno da ressurgência. A exposição da matéria orgânica ao oxigênio (em superfície) resulta na sua degradação. Nos ambientes aquáticos, o grau de preservação da matéria orgânica depende da concentração de oxigênio e do tempo de trânsito da biomassa ao longo da coluna d'água e de exposição na interface água/sedimento. Assim em águas óxicas a matéria orgânica tende a ser degradada, enquanto em águas anóxicas, há melhores condições de preservação. Em bacias cuja

toda a coluna d'água é óxica, altas taxas de sedimentação podem auxiliar na preservação da matéria orgânica, retirando-a da interface água/sedimento.

A atividade de organismos heterotróficos também exerce importante papel no processo de degradação da matéria orgânica. Sob condições óxicas, as bactérias aeróbicas e de organismos metazoários desempenham um importante papel na degradação da biomassa primária. Sob condições disóxicas/anóxicas, a ação desses organismos é limitada ou mesmo eliminada, e a alteração da matéria orgânica passa a ser realizada por bactérias anaeróbicas, que empregam nitratos e sulfatos como agentes oxidantes. Já na ausência desses agentes oxidantes, a matéria orgânica é decomposta por bactérias metanogênicas. Nos sistemas lacustres de água doce (onde é baixa a disponibilidade de sulfato) a metanogênese pode ser responsável, junto com a oxidação por oxigênio livre, pela decomposição da maior parte da matéria orgânica produzida. Estima-se que em média 0,1% da matéria orgânica produzida pelos organismos fotossintéticos é preservada nos sedimentos. Os ambientes mais favoráveis à preservação da matéria orgânica são os mares restritos e os lagos profundos.

5. GEOMICROBIOLOGIA

A Geomicrobiologia é uma ciência que investiga:

- Interação dos microrganismos com minerais nos ciclos do C, Fe, S e outros elementos ligados a matrizes minerais;
- os processos e manutenções dos ciclos biogeoquímicos em geral;
- indicação de atividades termais por bactérias metanogênicas, pela formação de gás metano;
- precipitação de manganês, e formação de nódulos metálicos nos fundos oceânicos que são potencialmente econômicos;
- a formação de estruturas como estromatolitos, contribuindo para a compreensão das estruturas carbonáticas nas bacias sedimentares;
- a remediação de minas e locais impactados por metais pesados;
- a remediação da corrosão em estruturas metálicas;
- a biodegradação de compostos recalcitrantes;
- a degradação microbiológica dos biopolímeros em fósseis moleculares e petróleo;

- também a aplicação na astrobiologia para o entendimento do papel dos microrganismos na fisiologia, metabolismo e colonização em ambientes extremos.

Por definição, a geomicrobiologia é o estudo dos microrganismos e o papel que desempenham em inúmeros processos geológicos, tanto na superfície como em sub-superfície. Esses microrganismos incluem procariontes e eucariontes, sendo as bactérias responsáveis pelos processos de mineralização da matéria orgânica e outros elementos vitais inorgânicos (Ehrlich, 2002).

A manutenção dos ciclos biogeoquímicos nos ambientes terrestres e marinhos está ligada à diagênese da matéria orgânica pelos microrganismos. Esse processo está intimamente ligado à termodinâmica ambiental. Os processos bacterianos aeróbios, facultativos anaeróbios, de desnitrificação e de sulfato-redução produzem 500, 50, 100 e 170 kJ/mol, respectivamente (Edwards *et al.*, 2005).

Na coluna d'água e sedimento, no particulado e/ou pelotas fecais, o oxigênio é o primeiro aceptor de elétrons usado pelas bactérias heterótrofas, pois essa via metabólica produz maior rendimento energético. Assim são formados precursores para síntese de polissacarídeos, pentoses, aminoácidos aromáticos, amino-açúcares, fosfolipídeos e ácidos carboxílicos. O ciclo de Krebs completa o ciclo, fornecendo precursores para síntese de ácidos graxos, aminoácidos e ácidos orgânicos, finalizando com a produção de energia na cadeia transportadora de elétrons (Crapez, 2007).

Com a depleção de oxigênio, as bactérias facultativas anaeróbias começam a oxidação incompleta dos substratos orgânicos, com produção de ácidos orgânicos e hidrogênio. Os produtos finais da fermentação servem de fonte de carbono para as bactérias anaeróbias, com o desenvolvimento da teia alimentar anaeróbia, cujos últimos componentes são as bactérias metanogênicas, que convertem hidrogênio e acetato para metano e gás carbônico. Estas últimas moléculas são utilizadas pelas bactérias autótrofas e metanotróficas (Crapez, 2007).

O primeiro processo anaeróbio é a redução do nitrito ou nitrato, com perda ambiental de formas nitrogenadas. Em seguida, vem a redução do Mn^{4+} para Mn^{2+} e a redução de óxidos de ferro, com o envolvimento de sulfetos, fenóis e ácidos carboxílicos. O penúltimo processo anaeróbio é a redução do sulfato, seguindo-se à produção de metano. As substâncias inorgânicas produzidas pelas bactérias anaeróbias são oxidadas pelas bactérias aeróbias quimiolitotróficas. Elas oxidam hidrogênio, amônia, nitrito, manganês, ferro e enxofre, estabelecendo ligação crítica dos ciclos biogeoquímicos (Crapez, 2007). A figura 11 relaciona a versatilidade metabólica bacteriana, dando ênfase à interdependência do metabolismo

fotossintético e os aceptores finais de elétrons dos metabolismos aeróbios, facultativo anaeróbio e quimiolitotrófico.

Assim, o direcionamento da capacidade metabólica de um microrganismo dependerá, entre outros fatores, do potencial de óxi-redução do ambiente. Alguns microrganismos só conseguem ser ativos em ambientes óxicos, como os aeróbios estritos, enquanto outros existem em ambientes anóxicos, como os sulfato-redutores e metanogênicos. O potencial redox indica a termodinâmica do ambiente, podendo-se prever as substâncias doadoras eceptoras de elétrons nas etapas finais das vias metabólicas dos organismos (Daumas, 1989). O decréscimo do potencial redox disponibiliza a troca de aceptores de elétrons de compostos ricos em energia como oxigênio e nitrato para compostos como sulfatos e dióxido de carbono. A falta de aceptores de elétrons ricos em energia suprime a biorremediação da maioria dos contaminantes orgânicos, como o óleo (Murphy *et al.*, 1999).

As condições físico-químicas de um ambiente direcionam o metabolismo das comunidades bacterianas com a produção e consumo de biomoléculas, síntese de energia, através dos metabolismos aeróbios, anaeróbios, fotossintéticos e quimiolitotróficos, que são interdependentes. Assim, para que os ciclos do carbono e nitrogênio, por exemplo, aconteçam em todas as suas etapas, o ambiente deverá possuir substâncias orgânicas e inorgânicas oxidadas e reduzidas, que gerem regiões óxicas para o metabolismo aeróbio, sucedendo-se os processos facultativos anaeróbios e até os anaeróbios. Assim, as bactérias assumem papel importante nas regiões costeiras, como deltas, estuários e baías, onde há, continuamente, descarga de nutrientes, matéria orgânica e influência antrópica, que alteram as variáveis físicas, químicas e os parâmetros biológicos do ambiente e, direta ou indiretamente, as comunidades bacterianas (Crapez, 2007).

Além disso, os sedimentos costeiros são intensamente colonizados por bactérias que participam da oxidação, degradação, remineralização da matéria orgânica e na conseqüente reciclagem dos nutrientes (Fabiano & Danovaro, 1994; Fabiano *et al.* 1995). As bactérias são capazes de transformar a matéria orgânica da forma particulada (MOP) para a dissolvida (MOD) e vice-versa, praticamente inacessível a outros grupos heterotróficos, pois são responsáveis pelo ciclo do carbono na alça microbiana (Fenchel, 2008). Estes compostos orgânicos são incorporados na biomassa bacteriana e reintroduzidos nas cadeias alimentares quando as células bacterianas servem de alimento a organismos de níveis tróficos superiores. As elevadas quantidades de matéria orgânica dissolvida e de matéria orgânica particulada que existem na coluna de água e nos sedimentos marinhos, têm um papel primordial nos processos bacterianos (Fenchel, 2008).

As bactérias são dotadas de exoenzimas denominadas esterase (EST), que hidrolisam a matéria orgânica em produtos de baixo peso molecular (oligômeros), fração orgânica consumida pelas bactérias (Weiss *et al.*, 1991). A desidrogenase é uma enzima intracelular constitutiva e a sua atividade está diretamente proporcional ao consumo de oxigênio pela biomassa bacteriana, o que chamamos de atividade transportadora de elétrons (ASTE) (Houridavignon & Relexans, 1989).

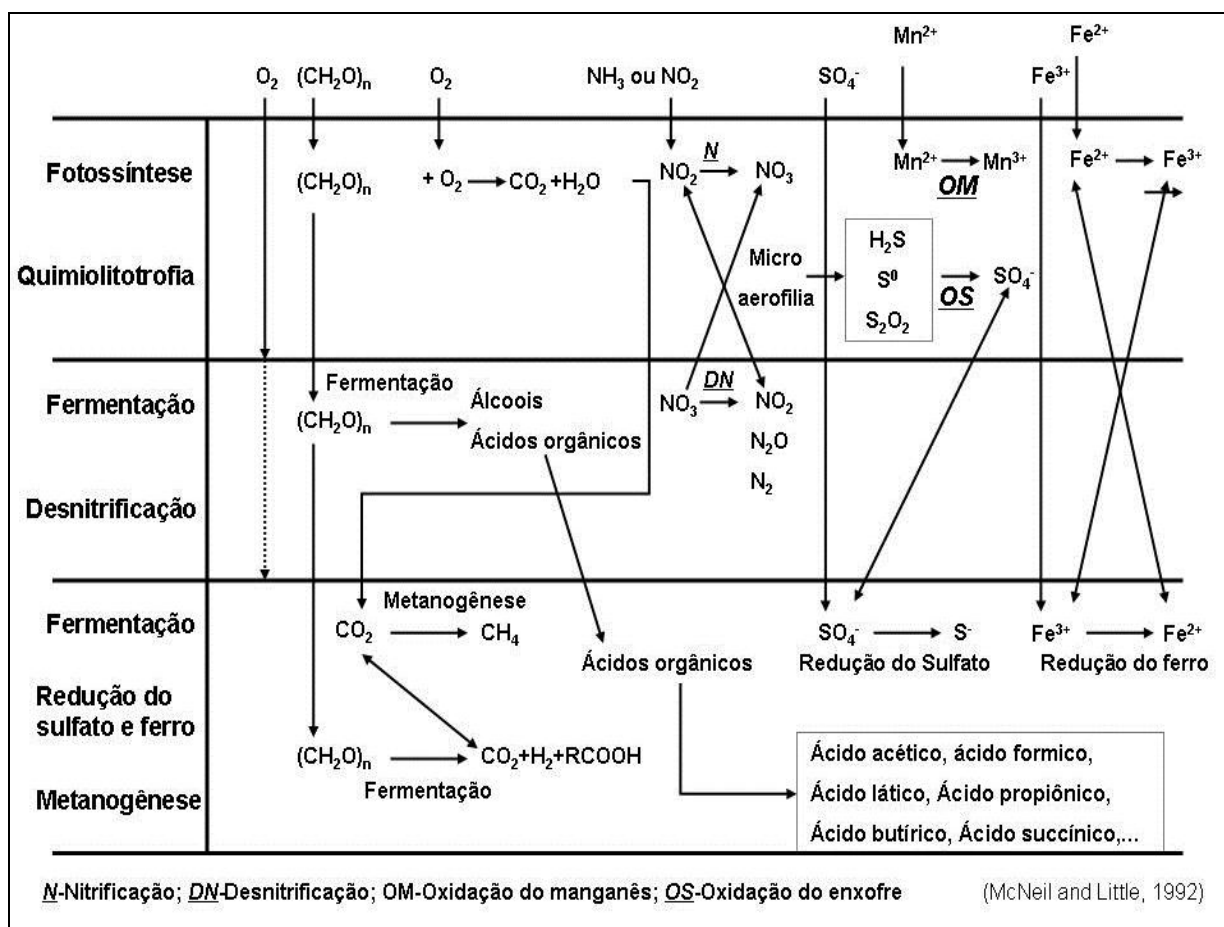


Figura 11: Versatilidade metabólica bacteriana na diagênese da matéria orgânica, modificado de McNeil & Little (1992), por Crapez (2007).

6. RESULTADOS

6.1 *BOX CORE*

A análise descritiva dos dados obtidos a partir das amostras dos sedimentos superficiais mostrou que estes apresentaram baixa variância revelando certa homogeneidade entre os pontos amostrados.

6.1.1 **Carbono orgânico total (COT) e enxofre (S)**

Os valores de COT variaram entre 0,63 – 1,47% apresentando média de 1,13 ($\pm 0,26$) %. Os teores de enxofre variaram entre 0,06 – 0,24% com média de 0,14 ($\pm 0,05$) %. O teor mais elevado de COT foi encontrado na estação 8 (1,47%) e do S na estação 4 (0,24%), os menores por sua vez foram ambos encontrados na estação 1 (0,63% e 0,06%, respectivamente) (Figura 12).

A razão COT:S apresentou em todas as estações valores acima de 3, com o maior valor sendo encontrado na estação 13 (12,12) e o menor valor na estação 4 (4,61) (Figura 12).

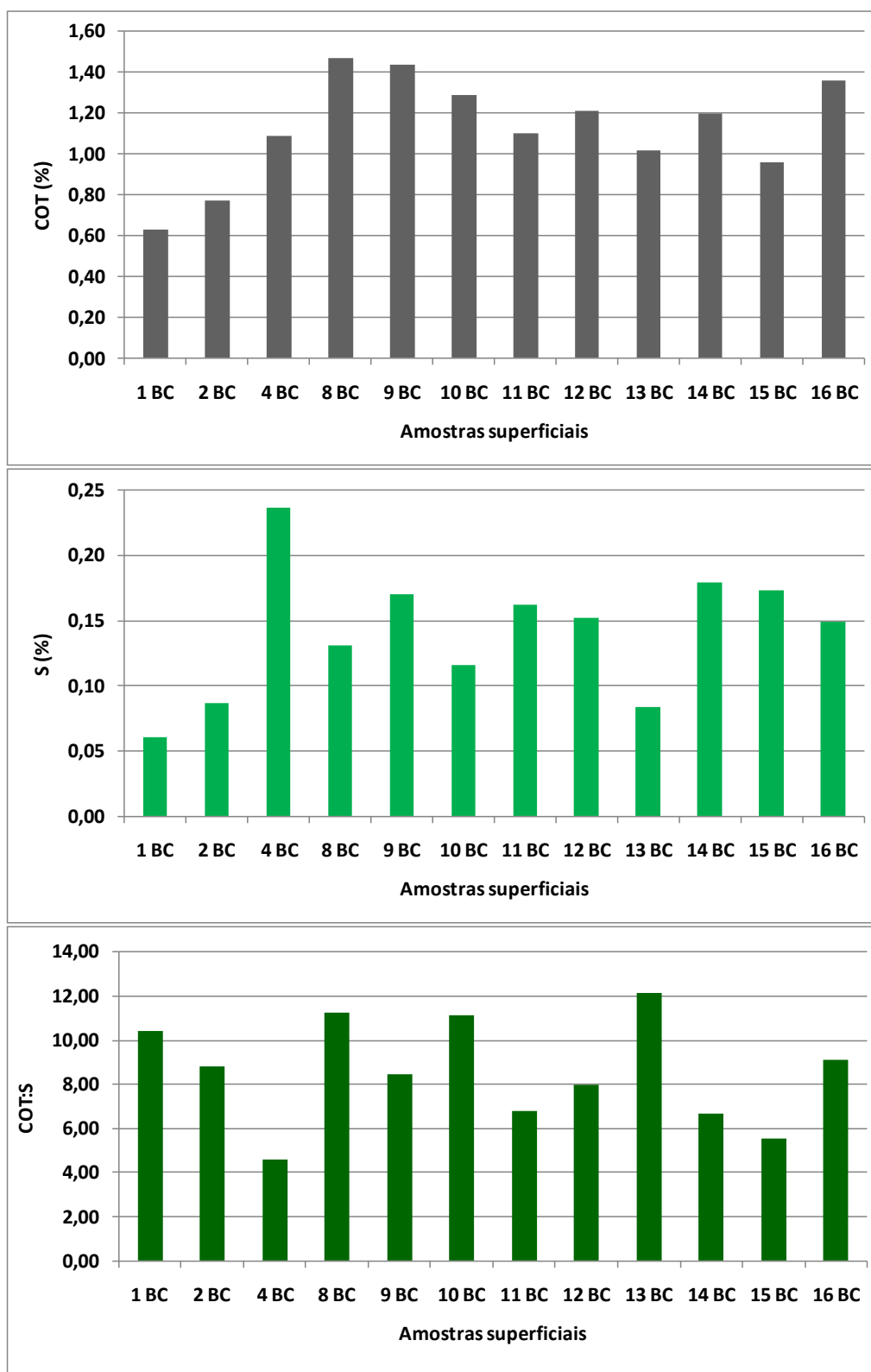


Figura 12: Distribuição do carbono orgânico total (COT), enxofre (S) e razão COT:S nos sedimentos superficiais.

6.1.2 Biopolímeros

Os carboidratos (CHO) variaram entre 14,5 – 41,47 mg.g⁻¹, com média de 26,41 (±7,83) mg.g⁻¹. As proteínas (PTN) variaram entre 5,61 – 13,40 mg.g⁻¹, com média de 9,85 (±2,24) mg.g⁻¹. E por fim os lipídeos (LIP) variaram entre 16,20 – 27,98 mg.g⁻¹, com média de 21,77 (±3,61) mg.g⁻¹ (Figura 13).

A maior concentração de CHO, PTN e LIP foram encontrados nas estações 8, 16 e 10 (respectivamente), enquanto que as menores concentrações de PTN foram encontradas na estação 1 e de CHO e LIP na estação 2. A relação entre os biopolímeros foi carboidratos>lipídios>proteínas.

Os valores de CHO, PTN e LIP assim como o BPC apresentaram correlação positiva com os teores de COT (p<0,05, r=0,68; r=0,69 e r=0,69, r=0,97 respectivamente) variando em função deste como demonstrado na figura 14. Estes biopolímeros também apresentaram correlação positiva com BPC (p<0,05; r=0,73; r=0,66 e r=0,75, respectivamente).

O carbono biopolimérico (BPC) é o somatório dos biopolímeros transformados em carbono biopoliméricos com fatores específicos, que variou entre 21,29 – 41,32 mg C .g⁻¹, com média de 31,72 (±5,44) mg C .g⁻¹. O BPC seguiu a mesma tendência dos biopolímeros apresentando maior concentração na estação 8 (41,32 mg C.g⁻¹) e menor na estação 2 (21,29 mg.g⁻¹) (Figura 15). A relação entre as frações do BPC foi de lipídios>carboidratos>proteínas

A razão PROTEÍNA:CARBOIDRATO dos sedimentos superficiais, ligada a importância da fração nitrogenada na matéria orgânica, variou entre 0,23 – 0,75 g/g de sedimento. A estação que teve o maior resultado da razão foi na estação 15 e o menor resultado foi na estação 1.

A razão CARBOIDRATO:COT variou entre 14,90 – 39,37, com média de 23,78 (±6,62). A estação que teve o maior resultado da razão foi na estação 1 e o menor resultado foi na estação 15.

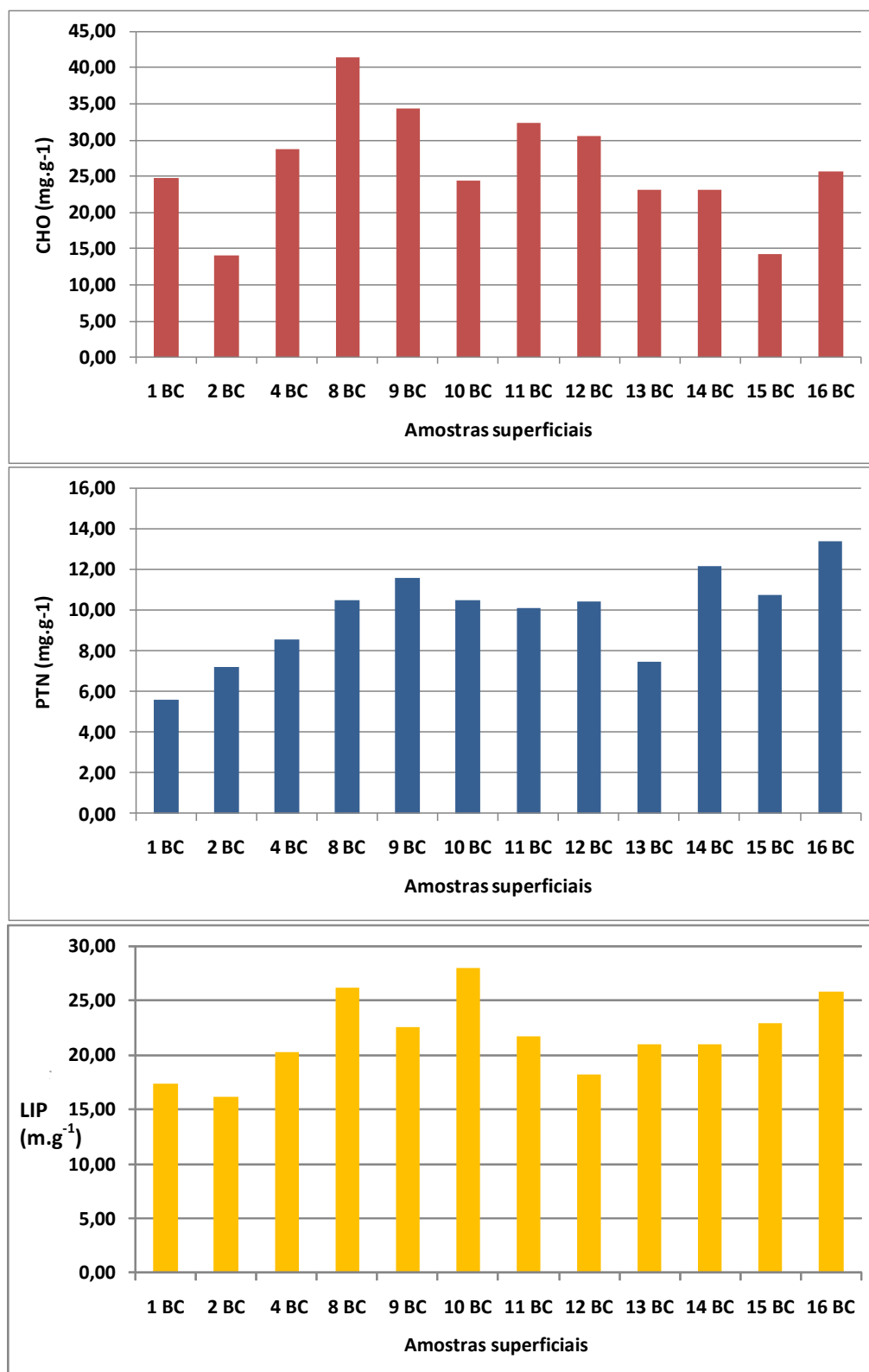


Figura 13: Distribuição dos carboidratos (CHO), proteínas (PTN) e lipídeos (LIP) nos sedimentos superficiais.

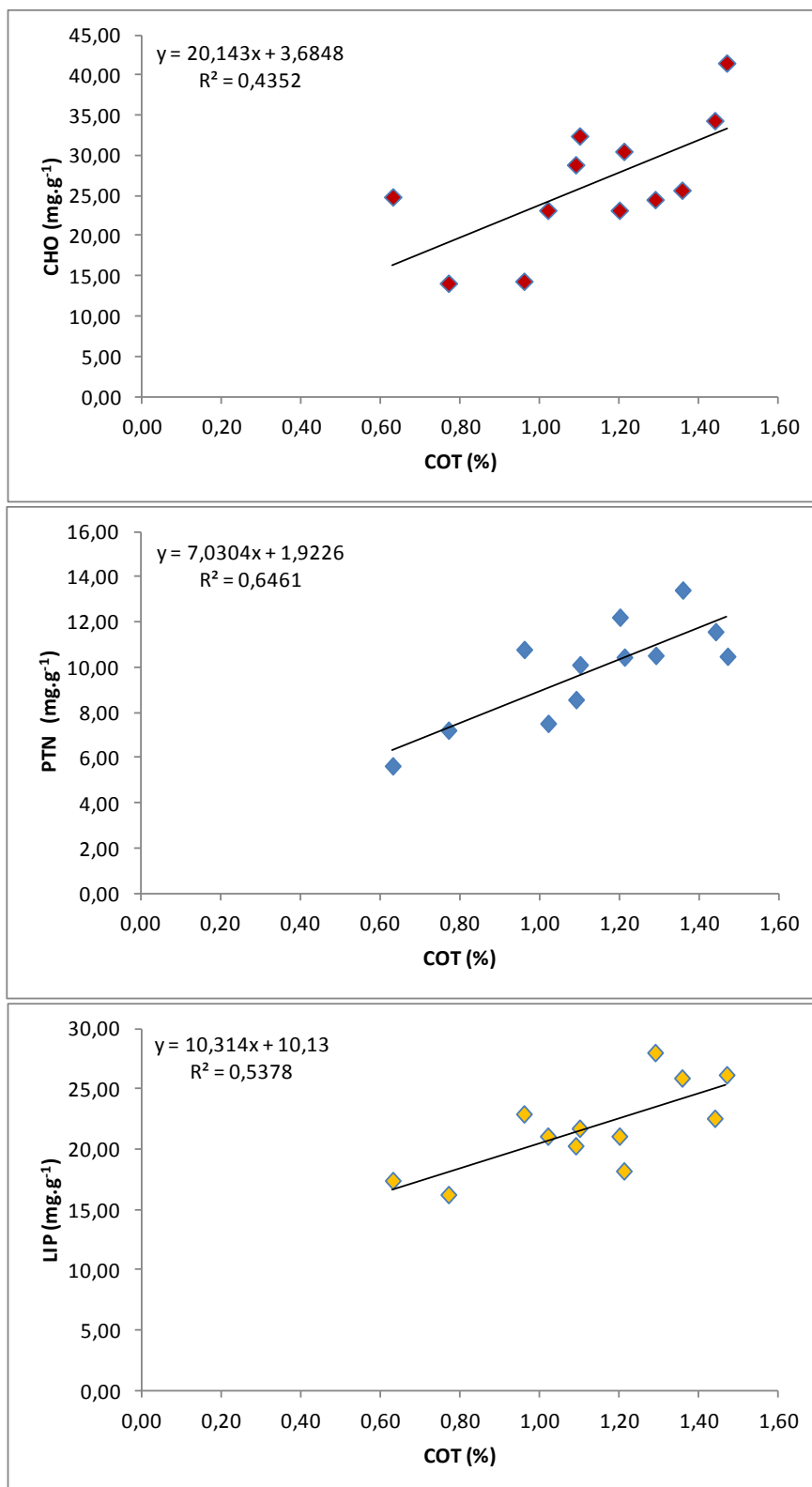


Figura 14: Relação entre carboidratos (CHO), proteínas (PTN) e lipídeos (LIP) com o COT nos sedimentos superficiais.

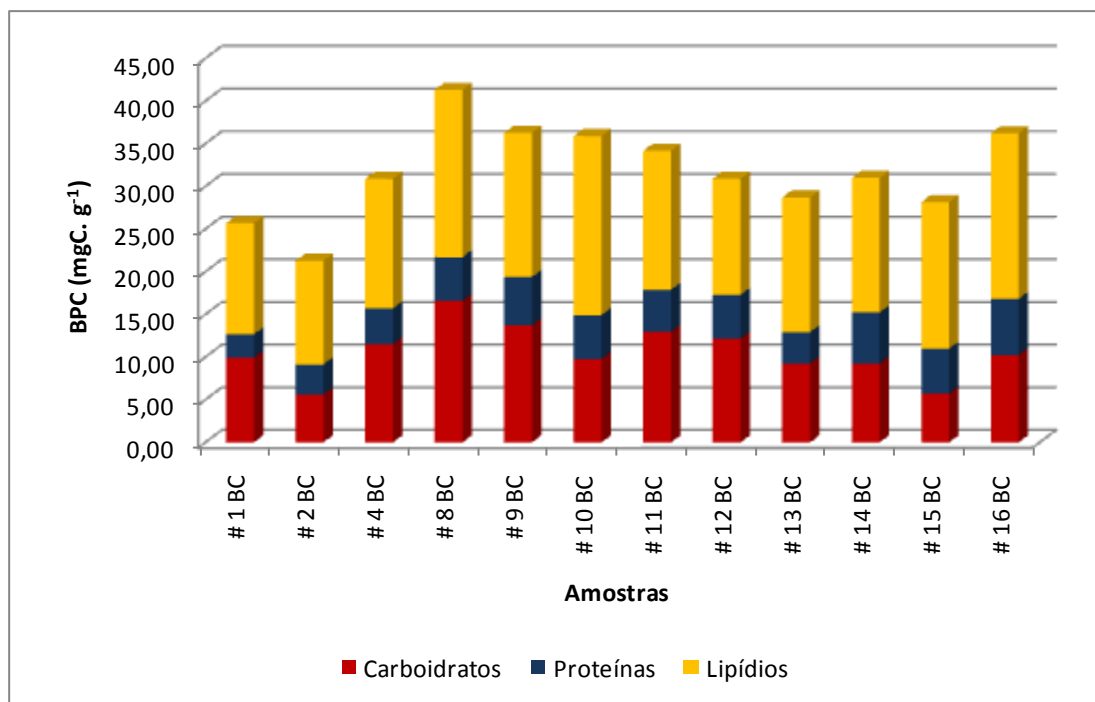


Figura 15: Distribuição do carbono biopolimérico (BPC) nos sedimentos superficiais.

6.1.3 Atividades Enzimáticas

Nos sedimentos superficiais a atividade enzimática do sistema transportador de elétrons (ASTE) variou entre 0,39 a 0,64 $\mu\text{L de O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$, com concentração média de 0,55 ($\pm 0,09$) $\mu\text{L de O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$. A maior concentração foi na estação 14 e menor na estação 4 (Figura 16).

Para a enzima esterase (EST), as concentrações variaram de não detectável a 0,87 $\mu\text{g fluoresceína} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$, com média de 0,24 ($\pm 0,27$) $\mu\text{g fluoresceína} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$. A maior concentração foi na estação 14 e menor na estação 4 e 15 (Figura 17).

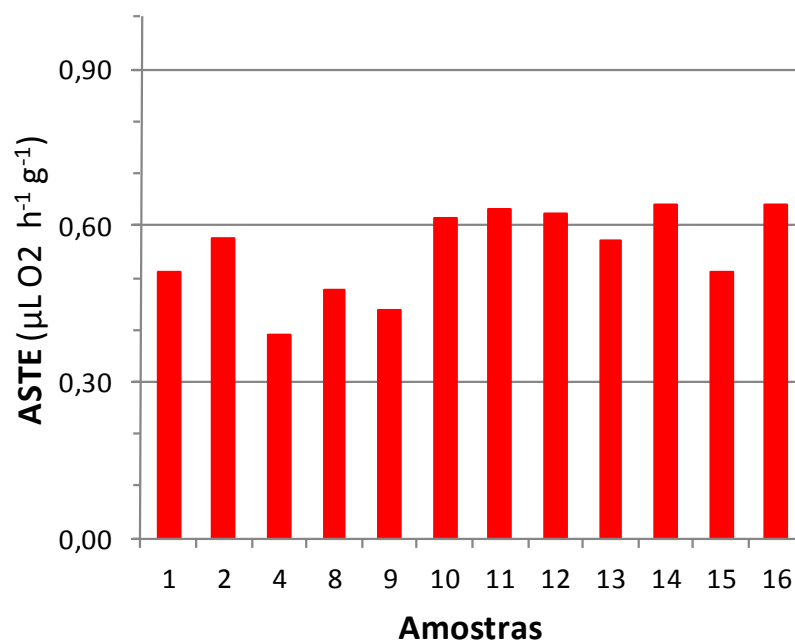


Figura 16: Concentração das enzimas desidrogenase (ASTE) nos sedimentos superficiais.

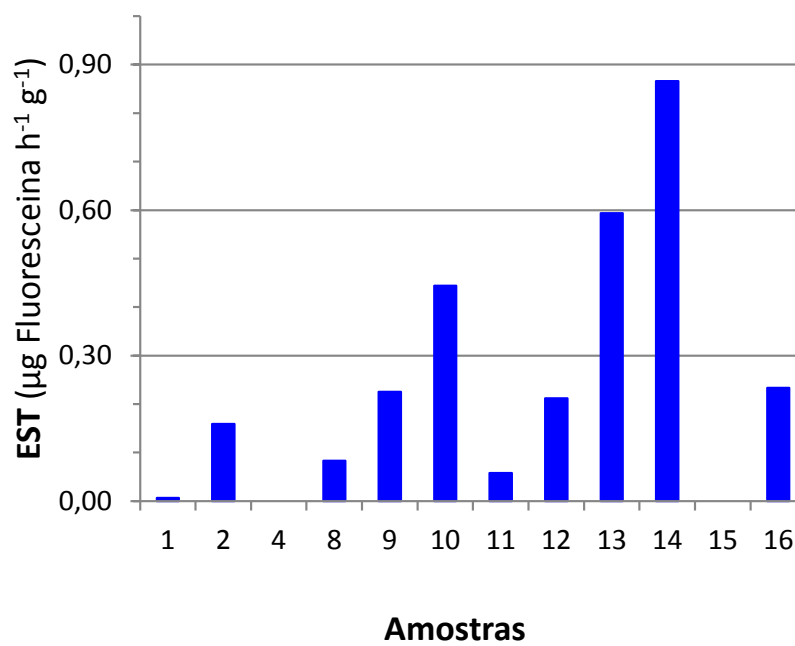


Figura 17: Concentração das enzimas esterase (EST) nos sedimentos superficiais.

6.1.4 Contagem de Células Bacterianas e Carbono Orgânico Bacteriano

A densidade populacional bacteriana variou entre $2,54 \times 10^8$ – $1,29 \times 10^{10}$ células.g⁻¹, com média de $4,60 \times 10^9$ ($\pm 0,27 \times 10^9$) células.g⁻¹. A maior concentração encontrada foi na estação 13 e a menor na estação 2 (Figura 18).

O carbono bacteriano variou entre de $3,04 \times 10^{-6}$ – $1,54 \times 10^{-4}$ µgC.g⁻¹, com média de $5,17 \times 10^{-5}$ ($\pm 6,79 \times 10^{-5}$) µgC.g⁻¹. A maior concentração foi na estação 13 e menor na estação 2.

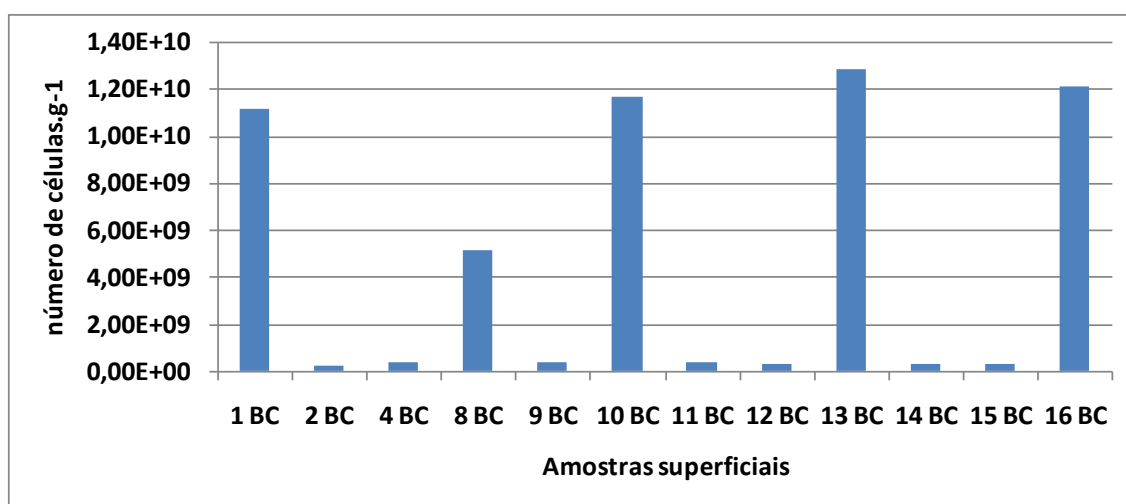


Figura 18: Concentração de células bacterianas nos sedimentos superficiais.

6.1.5 Atividade Respiratória Bacteriana

A atividade respiratória bacteriana (ARB), que consiste em uma análise das vias metabólicas bacterianas, mostrou que metabolismos aeróbicos e desnitrificantes estiveram presentes em todas as estações amostrais, enquanto que a via fermentativa mostrou-se ausente na estação 1, variável nas estações 4, 8, 9 e 10 e presente nas demais. A sulfato redução, por sua vez, foi variável nas estações 4 e 12 e presente nas estações 11 e 14 (Tabela 3).

Tabela 3: Distribuição das vias metabólicas bacterianas nos sedimentos superficiais.

Box Core (0-10 cm)	Aerobiose	Fermentação	Desnitrificação	Sulfato-redução
1	Presente	Ausente	Presente	Ausente
2	Presente	Presente	Presente	Ausente
4	Presente	Variável	Presente	Variável
8	Presente	Variável	Presente	Ausente
9	Presente	Variável	Presente	Ausente
10	Presente	Variável	Presente	Ausente
11	Presente	Presente	Presente	Presente
12	Presente	Presente	Presente	Variável
13	Presente	Presente	Presente	Ausente
14	Presente	Presente	Presente	Presente
15	Presente	Presente	Presente	Ausente
16	Presente	Presente	Presente	Ausente

	Presente
	Variável
	Ausente

6.1.6 Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento (Modo R) agrupou as variáveis de acordo com a correlação de Spearman, gerando dois grupos, a partir da divisão com 60% de similaridade: o grupo ligado à atividade e ação microbiológica, incluindo as enzimas bacterianas (ASTE e EST) e o grupo da matéria orgânica, composto pelos biopolímeros, COT e S (Figura 19).

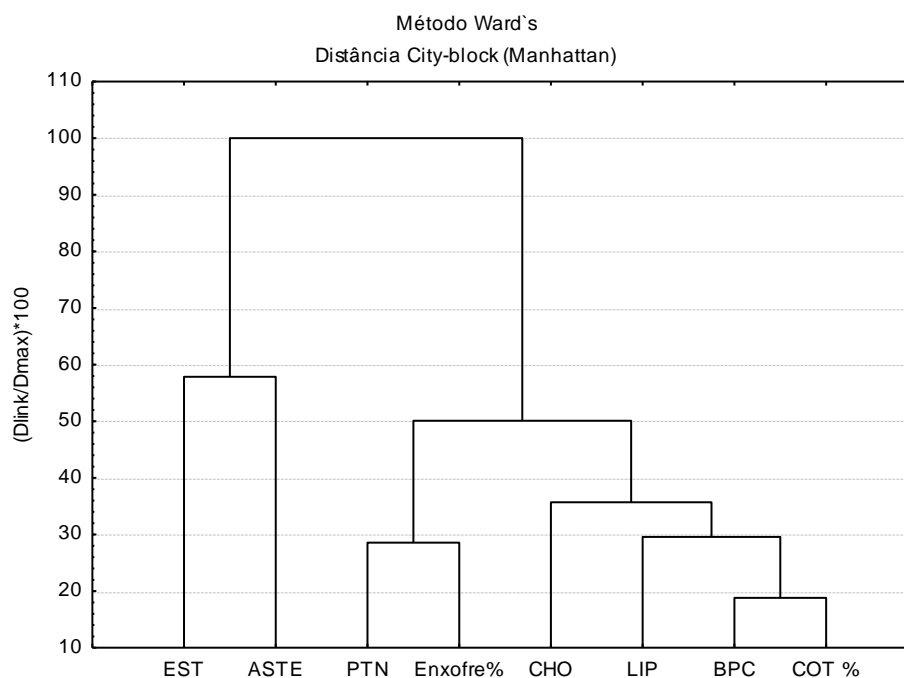


Figura 19: Agrupamento das variáveis (Modo R) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para as amostras de sedimento superficial.

A análise de agrupamento (Modo Q) dividiu as estações em três grupos, a partir da divisão com 40% de similaridade. O grupo I, composto pelas estações 1 e 2, onde apresentou as menores concentrações médias de proteínas e lipídios, menores teores médios de COT e S e como valores intermediários de ASTE e EST. O grupo II, composto pelas estações 4, 8, 9 e 15, onde apresentou os maiores teores médios de COT e S, concentrações intermediárias de lipídios e valores intermediários de ASTE com menores valores de EST. O grupo III, composto pelas amostras 10, 11, 12, 13, 14 e 16, apresentaram teores intermediários de COT e S, maiores concentrações de proteínas e lipídios e maiores valores de EST (Figura 20).

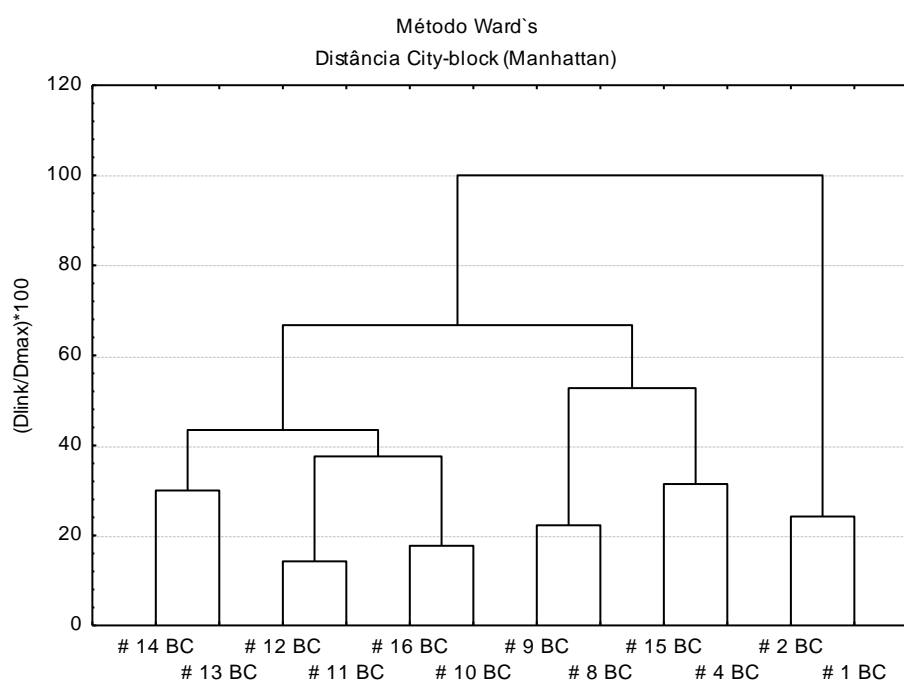


Figura 20: Agrupamento das estações (Modo Q) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para as amostras de sedimento superficial.

6.2. KULLEMBERGS

6.2.1 Caracterização Litológica dos Testemunhos

Os dados referentes a granulometria foram cedidos pela equipe do laboratório de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense. A descrição granulométrica foi baseada em réplicas de testemunhos. O testemunho CF10-01C recuperou uma coluna sedimentar de profundidade máxima de 3,7 m. Esse testemunho apresentou em sua composição sedimentos mais arenosos de 60-90%, a partir dos 2m de profundidade. O testemunho CF10-15C com 4,4 m de recuperação mostrou-se relativamente homogêneo, apresentou baixa variação nas concentrações de argila, com picos intercalados de areia e silte de 50-60%, ao longo de sua extensão (Figura 21).

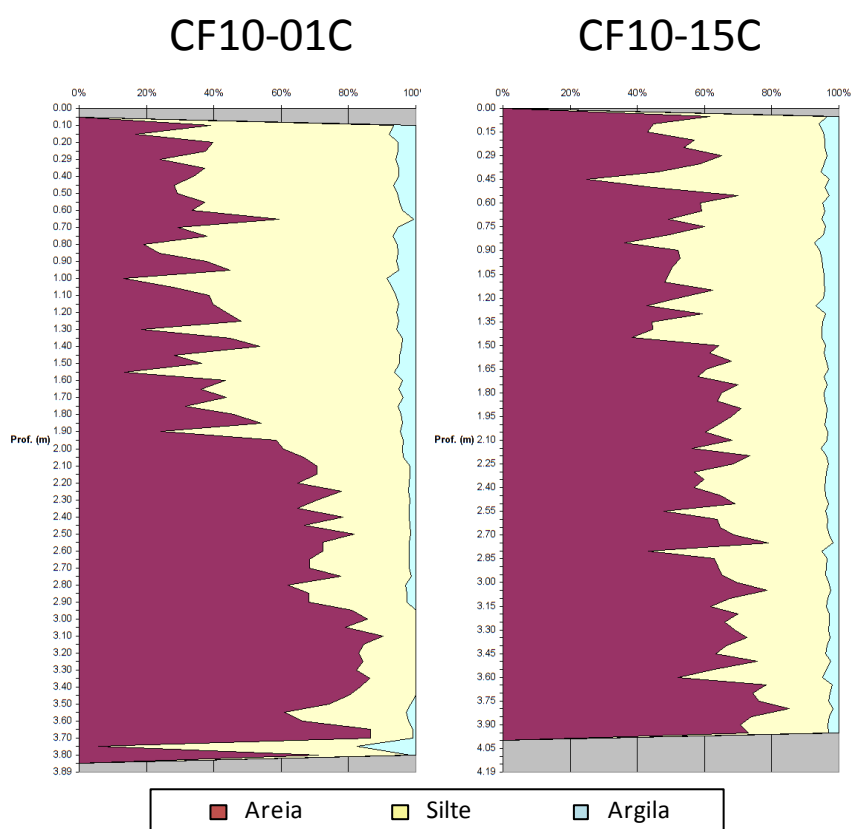


Figura 21: Granulometria dos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

6.2.2 Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre (S)

A variação do COT no testemunho CF10-01C foi entre 0,36 – 0,87% com média de 0,55 ($\pm 0,17$) %, já no enxofre a variação foi entre 0,10 – 0,45% com média de 0,32 ($\pm 0,05$) % (Figura 21). A maior porcentagem de COT foi encontrada a 0,65m de profundidade deste testemunho (0,87%), assim como para o S na mesma profundidade (0,45%). Já a menor concentração de COT foi encontrada a profundidade de 2,35 e 2,55m (0,36) e S a 0,05m (0,10%) (Figura 22 e 23).

A maior razão COT:S foi encontrada na amostra mais superficial do testemunho CF10-01C (0,05m) com valor de 6,96, enquanto a menor encontrada foi de 1,21 a profundidade de 2,35m. Com exceção das amostras encontradas no topo do K1 (0,05 e 0,15m), em todas as profundidades a razão foi ≤ 3 (Figura 24).

Já no testemunho CF10-15C, a variação do COT foi entre 0,52 – 1,04% com média de 0,62 ($\pm 0,09$) %, já no enxofre a variação foi entre 0,13 – 0,38% com média de 0,29 ($\pm 0,04$) % (Figura 21 e 22). A maior porcentagem de COT foi encontrada a 0,05m de profundidade do testemunho e pouco variou ao longo desde, já o S apresentou maior porcentagem a profundidade de 1,15m (0,38%). A menor concentração de COT foi encontrada na base do testemunho com profundidades de 3,85; 3,95 e 4,35m (0,52%) e o S a 0,05m (0,13%) (Figura 22 e 23).

A maior razão COT:S foi encontrada nos primeiros centímetros do testemunho (0,05m) com valor de 7,97, enquanto a menor encontrada foi de 1,83 (1,15m). Apenas os primeiros centímetros do topo do testemunho (0,05 e 0,15m) apresentaram uma razão ≥ 3 . Com o aumento da profundidade a razão foi ≤ 3 (Figura 24).

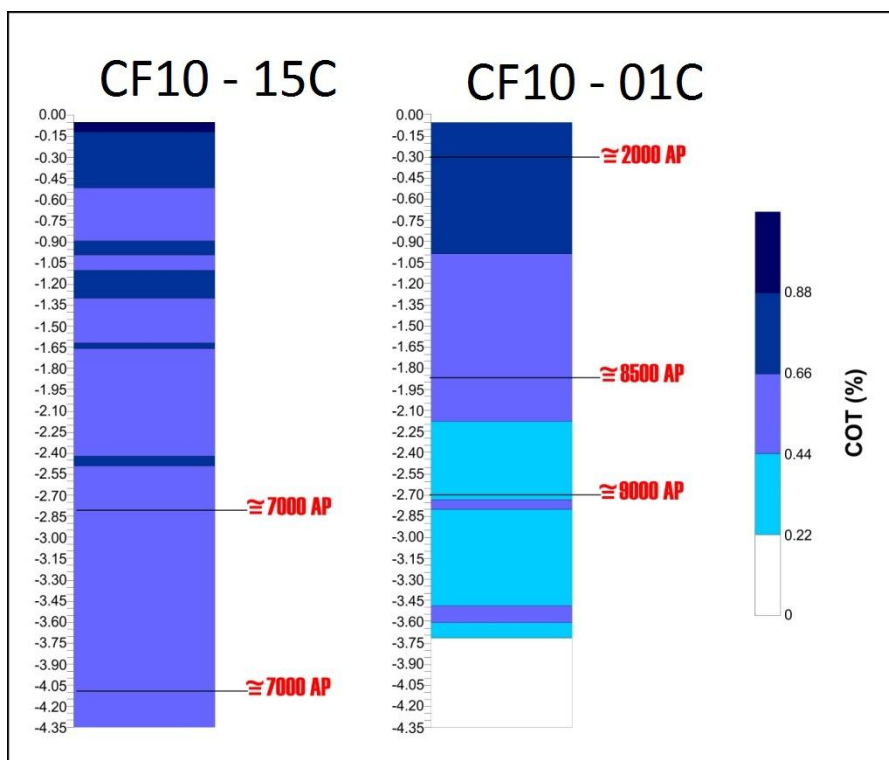


Figura 22: Porcentagem de carbono orgânico total (COT) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

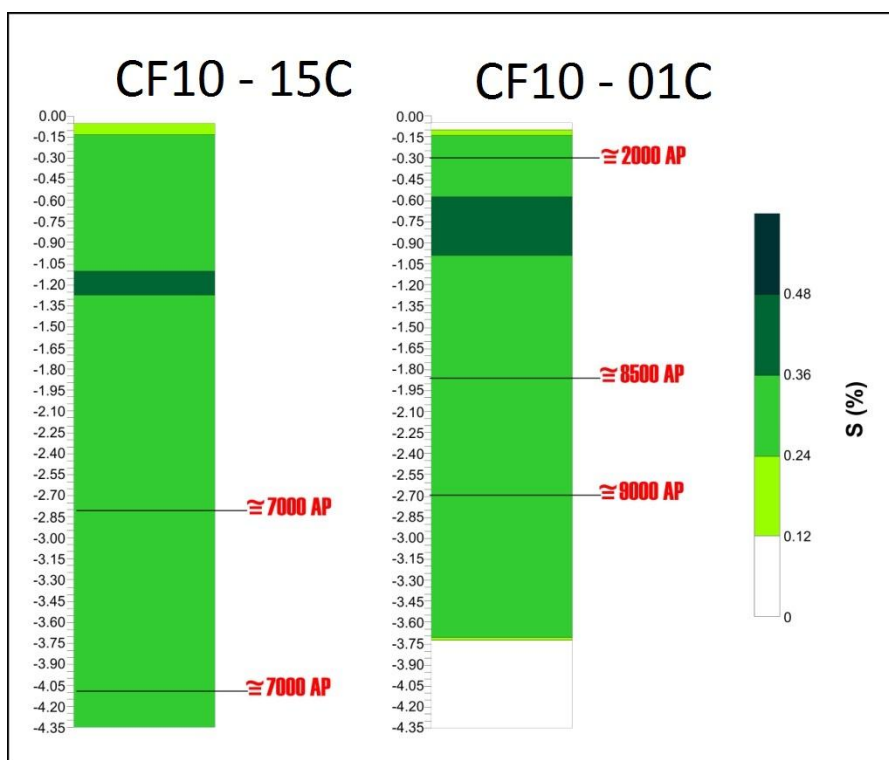


Figura 23: Porcentagem de enxofre (S) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

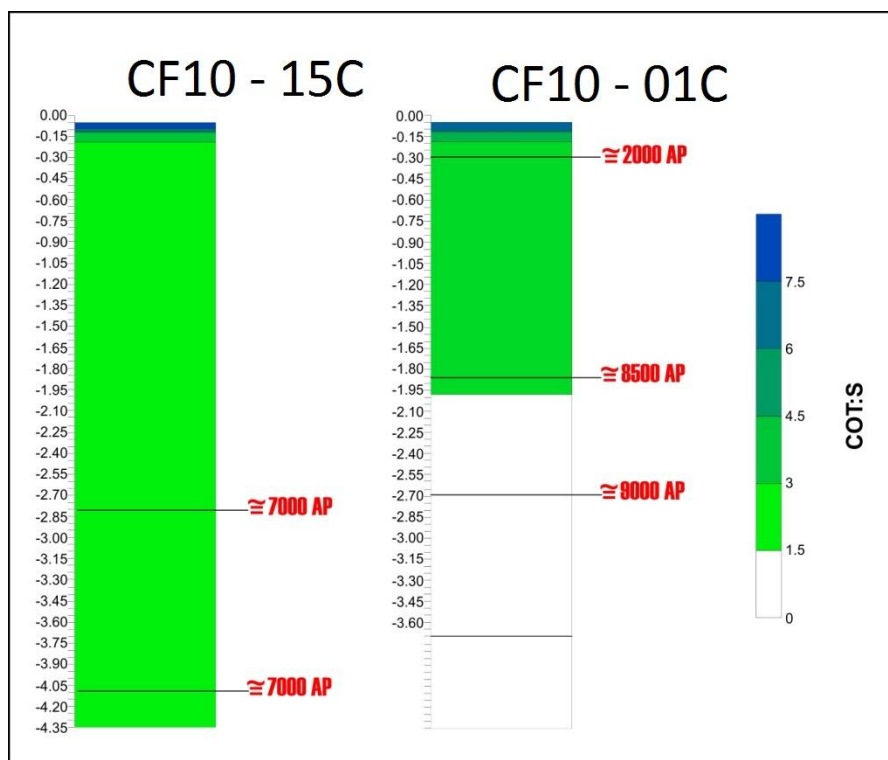


Figura 24: Razão COT:S nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

6.2.3 Biopolímeros

No testemunho CF10-01C os carboidratos variaram entre 30,67 – 75,94 mg.g⁻¹, com média de 49,04 ($\pm 14,7$) mg.g⁻¹. As proteínas variaram entre 3,65 – 29,22 mg.g⁻¹, com média de 11,30 ($\pm 7,07$) mg.g⁻¹. E por fim os lipídios variaram entre 5,66 – 24,40 mg.g⁻¹, com média de 13,12 ($\pm 4,81$) mg.g⁻¹ (Figura 25, 26 e 27).

No testemunho CF10-15C os carboidratos variaram entre 6,17 – 71,39 mg.g⁻¹, com média de 30,54 ($\pm 0,18$) mg.g⁻¹. As proteínas variaram entre 1,84 – 5,08 mg.g⁻¹, com média de 3,29 ($\pm 0,83$) mg.g⁻¹. E por fim os lipídios variaram entre 12,54 – 36,61 mg.g⁻¹, com média de 23,73 ($\pm 5,39$) mg.g⁻¹ (Figura 25, 26 e 27).

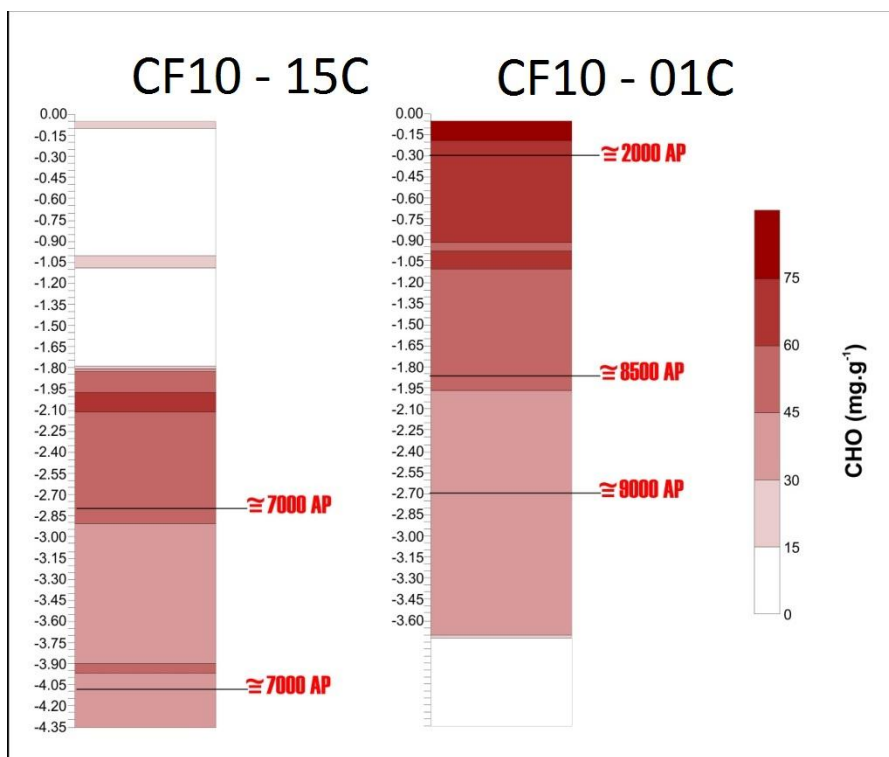


Figura 25: Distribuição dos carboidratos (CHO) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

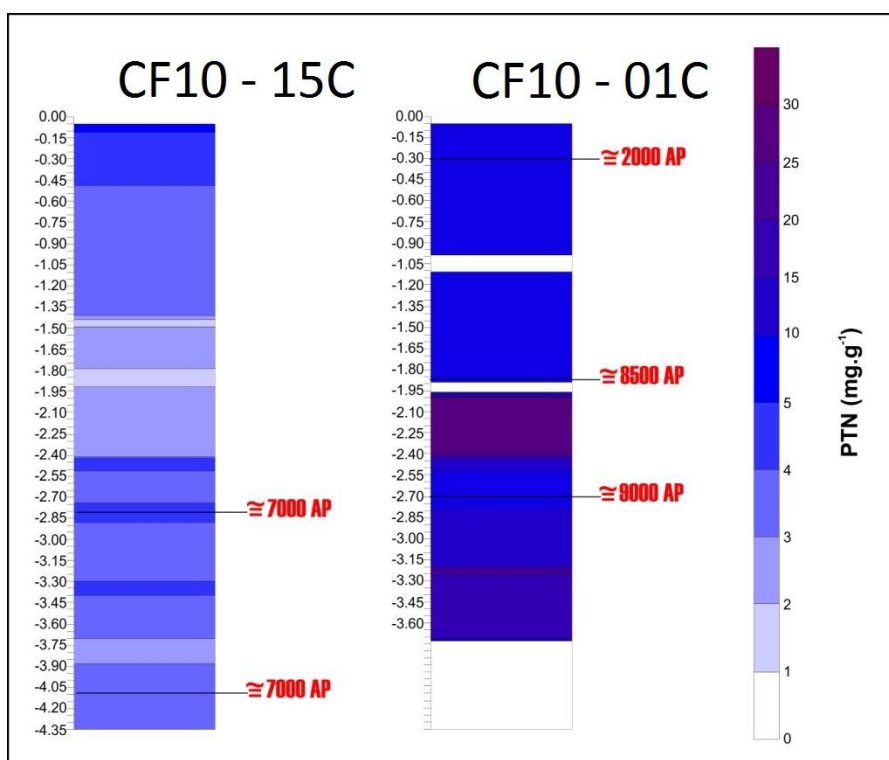


Figura 26: Distribuição das proteínas (PTN) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

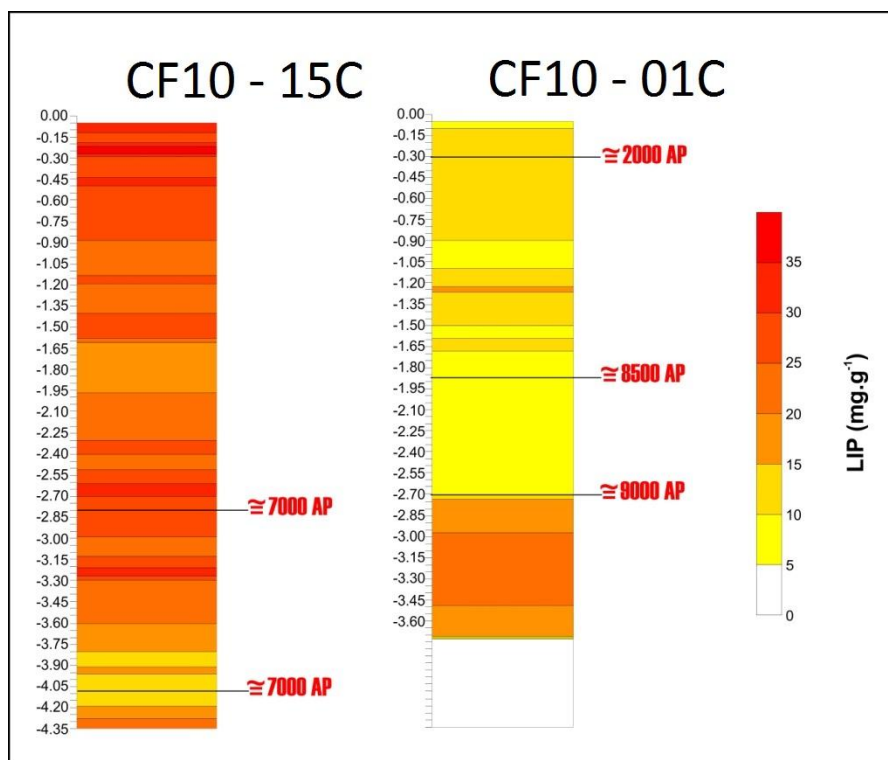


Figura 27: Distribuição dos lipídeos (LIP) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

Quando relacionados os biopolímeros com o COT nos sedimentos do testemunho CF10-01C, a correlação foi positiva para carboidratos ($p < 0.05$; $r = 0.90$) e negativa para proteínas ($p < 0.05$; $r = -0.47$) e lipídeos ($p < 0.05$; $r = -0.47$) (Figura 28).

Para o testemunho CF10-15C, a correlação entre os biopolímeros e o COT foi negativa para carboidratos ($p < 0.05$; $r = -0.51$) e positiva para proteínas ($p < 0.05$; $r = 0,37$) e lipídeos ($p < 0.05$; $r = 0,45$) (Figura 29).

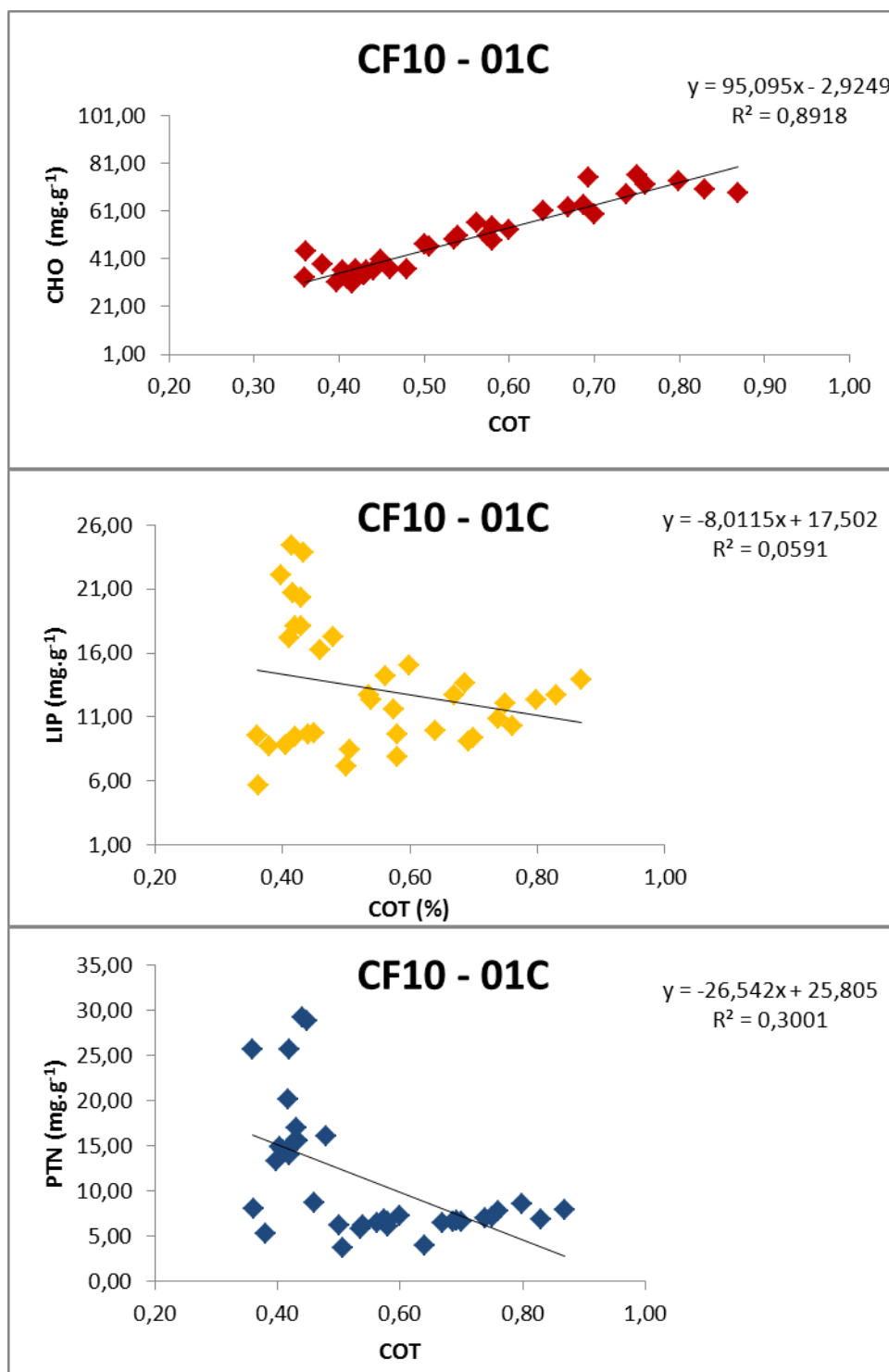


Figura 28: Relação entre carboidratos (CHO), proteínas (PTN) e lipídeos (LIP) com o COT no testemunho CF10-01C.

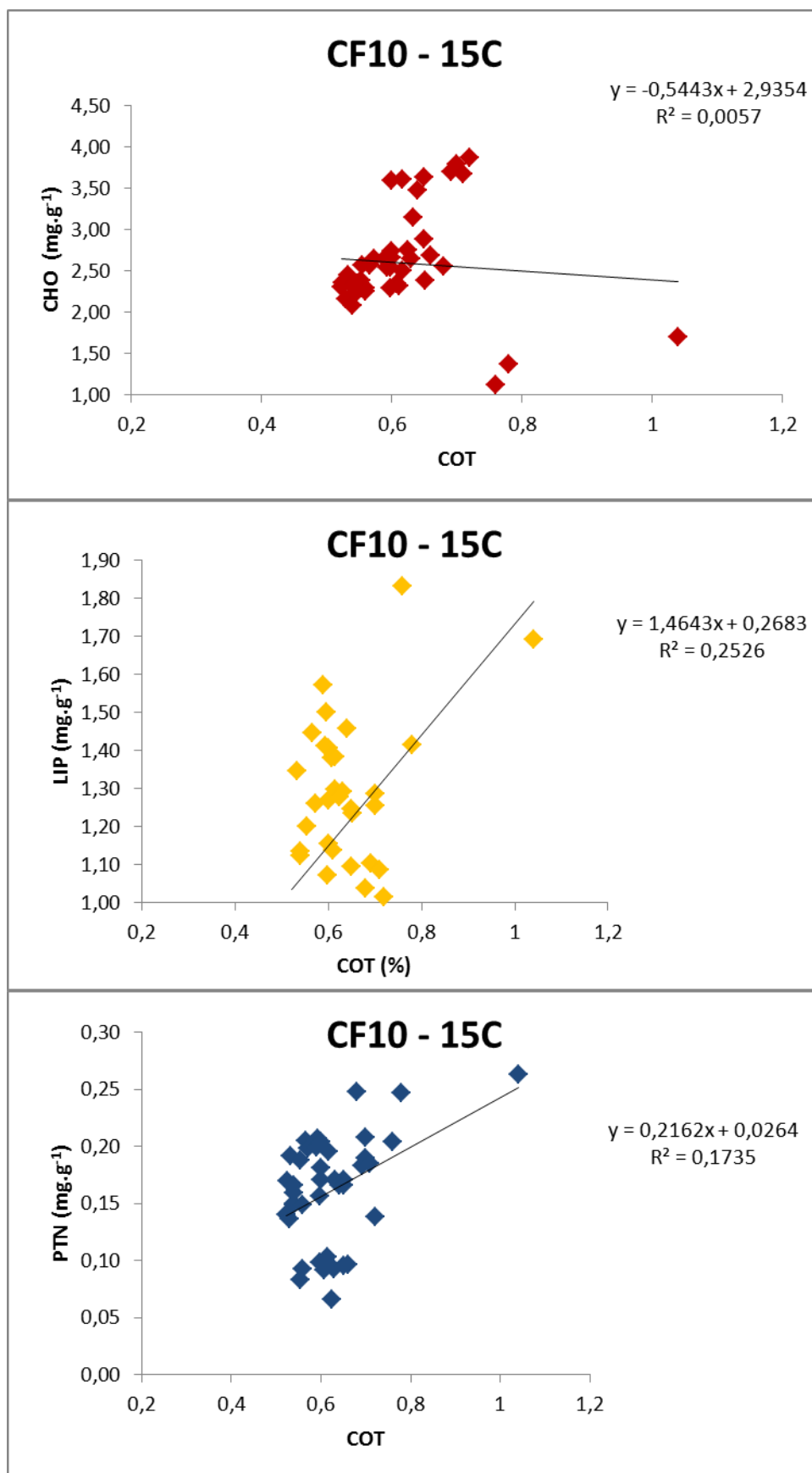


Figura 29: Relação entre carboidratos (CHO), proteínas (PTN) e lipídeos (LIP) com o COT no testemunho CF10-15C.

A razão PROTEÍNA:CARBOIDRATO do CF10-01C variou entre 0,07 – 0,81 g/g de sedimento, com média de 0,28 ($\pm 0,23$). A amostra que teve como maior resultado da razão foi à referente à profundidade de 2,15m e o menor resultado foi a 1,05m. A razão PROTEÍNA:CARBOIDRATO do CF10-15C variou entre 0,03 – 0,66 g/g de sedimento, com média de 0,18 ($\pm 0,15$). A amostra que teve o maior resultado da razão foi à referente à profundidade de 0,35m e o menor resultado foi a 2,05m (Figura 30).

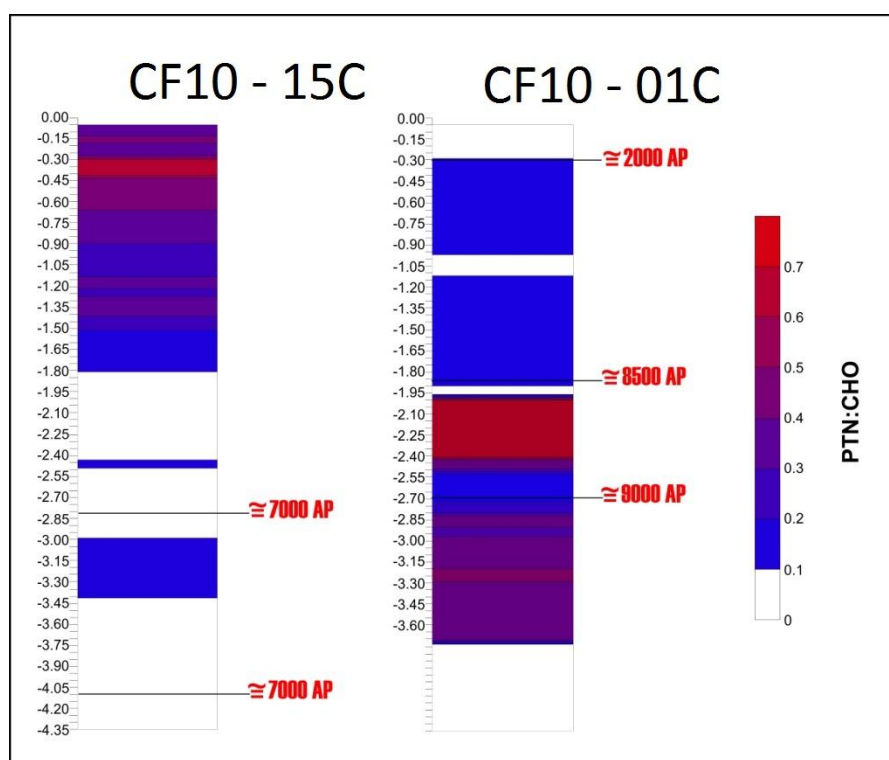


Figura 30: Razão PROTEÍNA:CARBOIDRATO (PTN:CHO) dos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

A razão CARBOIDRATO:COT do CF10-01C variou entre 0,74 – 1,22, com média de 0,89 ($\pm 0,1$). A amostra que teve o maior resultado da razão foi à referente à profundidade de 2,55m e o menor resultado foi a 3,05m. A razão CARBOIDRATO:COT do CF10-15C variou entre 0,09 – 1,17, com média de 0,52 ($\pm 0,32$). A amostra que teve o maior resultado da razão foi à referente à profundidade de 2,05m e o menor resultado foi a 0,35m (Figura 31).

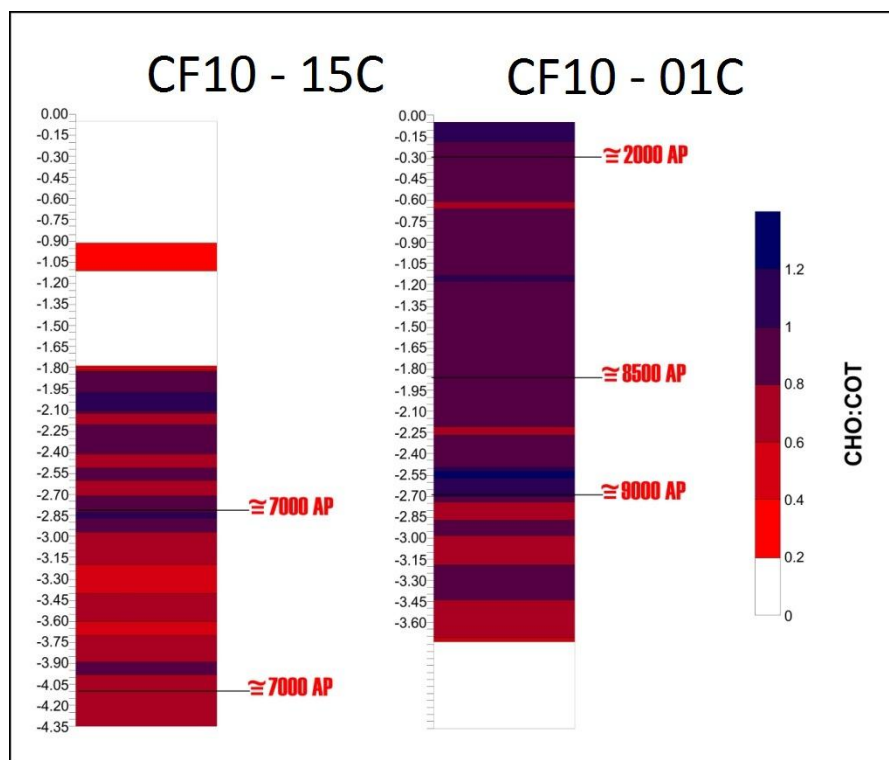


Figura 31: Razão CARBOIDRATO:COT dos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

O carbono biopolimérico (BPC) do CF10-01C variou entre 24,50 – 42,93 mg C .g⁻¹, com média de 35,00 (±4,80) mg C .g⁻¹. A amostra que teve o maior resultado de BPC foi referente à profundidade de 0,75m e o menor resultado foi a profundidade de 2,65m. O carbono biopolimérico (BPC) do CF10-15C variou entre 19,46 – 46,62 mg C .g⁻¹, com média de 31,62 (±7,28) mg C .g⁻¹. A amostra que teve o maior resultado de BPC foi referente a profundidade de 2,05m e o menor resultado foi a profundidade de 1,75m (Figura 32).

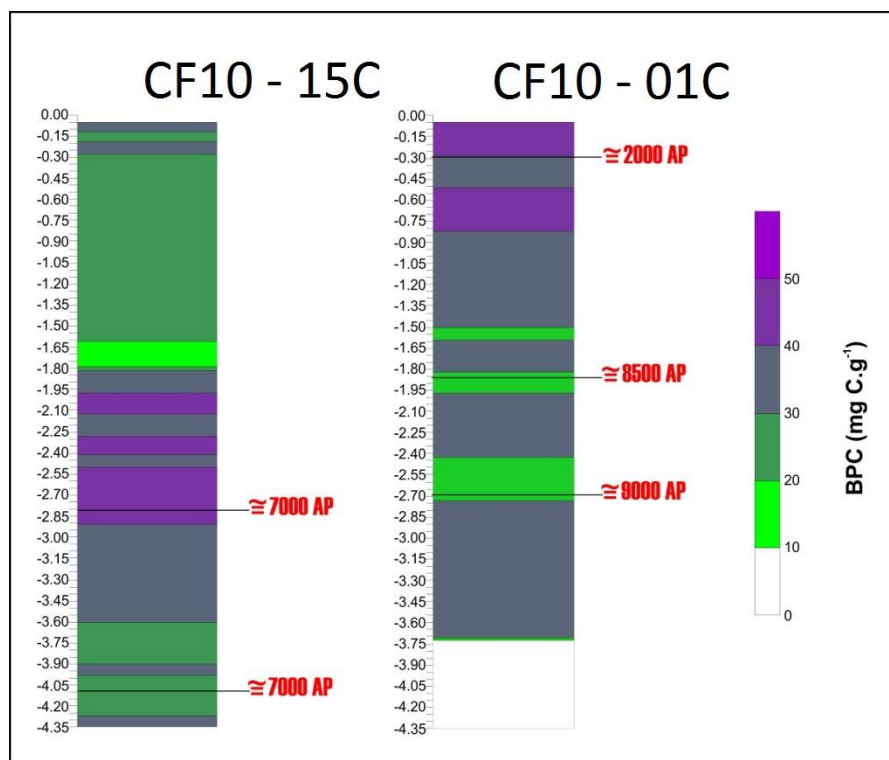


Figura 32: Concentração do Carbono Biopolimérico (BPC) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

6.2.4 Atividades Enzimáticas

No testemunho CF10-01C a atividade da enzima do sistema transportador de elétrons (ASTE) variou entre 0,42 – 0,46 $\mu\text{L de O}_2\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$, com concentração média de 0,44 ($\pm 0,01$) $\mu\text{L de O}_2\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$. A maior concentração foi na amostra referente a profundidade de 0,65m e menor a 2,65m. No testemunho CF10-15C a ASTE variou entre 0,19 – 0,34 $\mu\text{L de O}_2\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$, com concentração média de 0,28 ($\pm 0,05$) $\mu\text{L de O}_2\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$. A maior concentração foi na amostra referente a profundidade de 1,35m e menor a 2,35m (Figura 33).

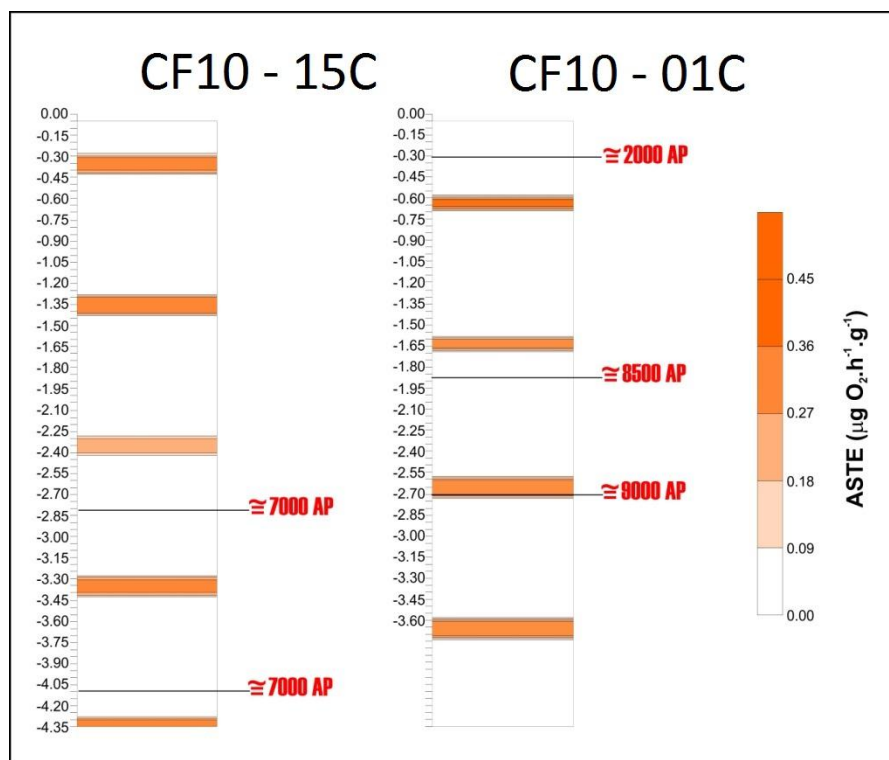


Figura 33: Concentração das enzimas desidrogenase (ASTE) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

Para a enzima esterase (EST) no testemunho CF10-01C, as concentrações variaram de não detectável a $0,38 \mu\text{g fluoresceína.h.g}^{-1}$, com média de $0,22 (\pm 0,16) \mu\text{g fluoresceína.h.g}^{-1}$. A maior concentração foi na amostra referente à profundidade de $0,65\text{m}$ e menor a $3,65\text{m}$. Nos sedimentos do CF10-15C a EST, as concentrações variaram de $0,11 - 0,24 \mu\text{g fluoresceína.h.g}^{-1}$, com média de $0,17 (\pm 0,05) \mu\text{g fluoresceína.h.g}^{-1}$. A maior concentração foi na amostra referente a profundidade de $4,35\text{m}$ e menor a $3,35\text{m}$ (Figura 34).

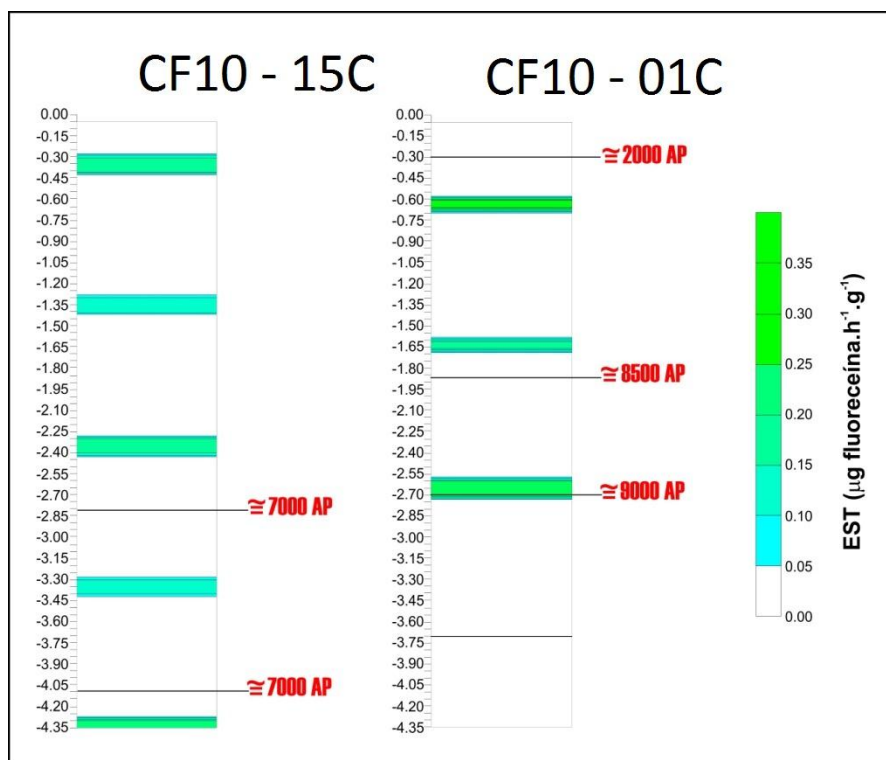


Figura 34: Concentração das enzimas esterases (ESTE) nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

6.2.5 Contagem de células bacterianas e carbono orgânico bacteriano

No testemunho CF10-01C foram encontradas para contagem de células bacterianas concentrações variando entre $5,56 \times 10^9$ – $3,18 \times 10^{10}$, com média de $1,32 \times 10^{10}$ ($\pm 5,68 \times 10^9$). A maior concentração foi na amostra referente a profundidade de 1,25m e menor a 3,65m (Figura 35). O carbono bacteriano variou entre de $6,65 \times 10^{-5}$ – $3,82 \times 10^{-4} \mu\text{gC.g}^{-1}$, com média de $1,59 \times 10^{-4}$ ($\pm 6,82 \times 10^{-5}$) $\mu\text{gC.g}^{-1}$. A maior concentração foi na amostra referente à profundidade de 1,25m e menor a 3,65m.

No testemunho CF10-15C foram encontradas para contagem de células bacterianas concentrações variando entre $6,65 \times 10^9$ – $1,44 \times 10^{10}$, com média de $9,89 \times 10^9$ ($\pm 1,92 \times 10^9$). A maior concentração foi na amostra referente a profundidade de 1,85m e menor a 1,35m (Figura 35). O carbono bacteriano variou entre de $7,98 \times 10^{-5}$ – $1,72 \times 10^{-4} \mu\text{gC.g}^{-1}$, com média de $1,19 \times 10^{-4}$ ($\pm 2,30 \times 10^{-5}$) $\mu\text{gC.g}^{-1}$. A maior concentração foi na amostra referente à profundidade de 1,85m e menor a 1,35m.

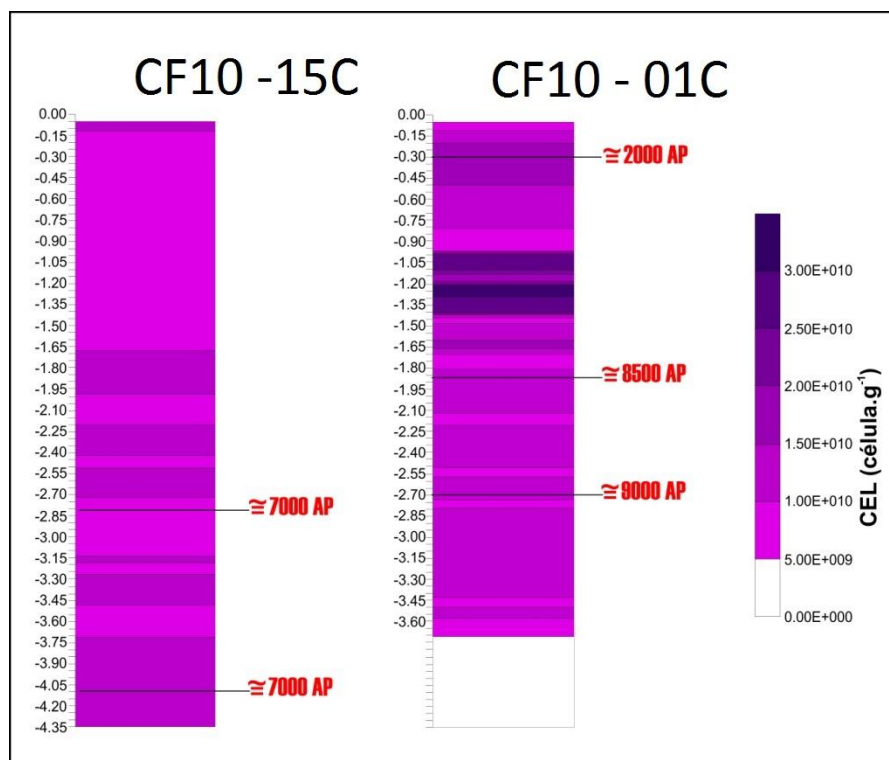


Figura 35: Concentração de células bacterianas nos testemunhos CF10-01C e CF10-15C.

6.2.6 Atividade respiratória bacteriana

A atividade respiratória bacteriana (ARB) mostrou que metabolismos fermentativos estiveram presentes em todas as profundidades analisadas do testemunho, enquanto que as vias aeróbicas e desnitrificantes mostraram-se presente e variável, respectivamente, nos primeiros 0,65m do CF10-01C. A sulfato redução, por sua vez, não foi detectada ao longo do testemunho. (Tabela 4).

Tabela 4: Distribuição das vias metabólicas bacterianas no testemunho CF10-01C.

Kullemberg 1 (m)	Aerobiose	Fermentação	Desnitrificação	Sulfato-redução
0,65	Presente	Presente	Variável	Ausente
1,65	Ausente	Presente	Ausente	Ausente
2,65	Ausente	Presente	Ausente	Ausente
3,65	Ausente	Presente	Ausente	Ausente

	Presente
	Variável
	Ausente

Semelhante ao CF10-01C, a ARB mostrou que no testemunho CF10-15C os metabolismos fermentativos estiveram presentes em todas as profundidades analisadas, enquanto que as vias

aeróbicas e desnitrificantes mostraram-se presente somente no topo do testemunho. A sulfato redução não foi detectada. (Tabela 5).

Tabela 5: Distribuição das vias metabólicas bacterianas no testemunho CF10-15C.

Kulleberg 15 (m)	Aerobiose	Fermentação	Desnitrificação	Sulfato-redução
0,35	Presente	Presente	Presente	Ausente
1,35	Ausente	Presente	Ausente	Ausente
2,35	Ausente	Presente	Variável	Ausente
3,35	Ausente	Presente	Ausente	Ausente
4,35	Ausente	Presente	Ausente	Ausente

	Presente
	Variável
	Ausente

6.2.7 Análise de agrupamento

- CF10-01C

A análise de agrupamento (Modo R) agrupou as variáveis de acordo com a correlação de Serman, gerando três grupos, a partir da divisão com 60% de similaridade: o grupo I, representada pelos carboidratos e carbono orgânico total. O grupo II, representado pelo enxofre e o carbono biopolimérico. Por fim, o grupo III, representado pelas proteínas, lipídios e o número de células. (Figura 36).

A análise de agrupamento (Modo Q) agrupou as amostras de acordo com a correlação de Serman, gerando dois grupos de amostras com certa homogeneidade, a partir da divisão com 40% de similaridade: o grupo I foi representado pelas amostras mais superficiais, presentes do topo para o meio do testemunho (0,05 – 1,65m). Neste grupo podemos notar os maiores teores de COT e S, uma maior atividade das enzimas bacterianas, acompanhada de um maior número de células bacterianas. Os metabolismos dominantes foram à aerobiose e fermentação. O grupo II foi representado pelas demais amostras (1,55 – 3,35m), abrangendo a base do testemunho. Onde ficaram evidentes os menores teores de COT e S. Nos biopolímeros, o lipídio apresentou suas maiores concentrações, além da baixa atividade enzimática. O metabolismo presente foi à fermentação (Figura 37).

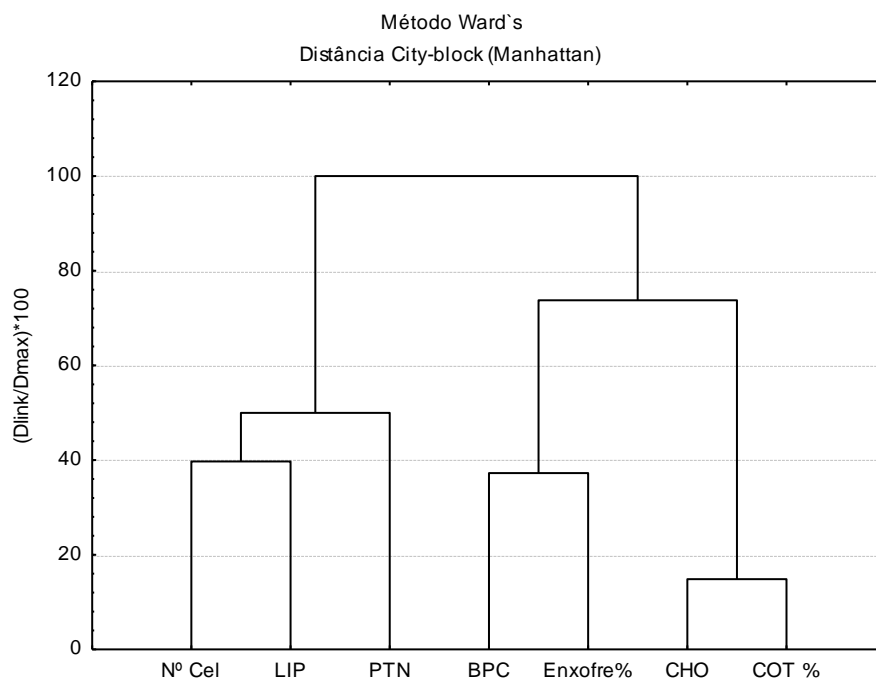


Figura 36: Agrupamento das variáveis (modo R) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para o testemunho CF10-01C.

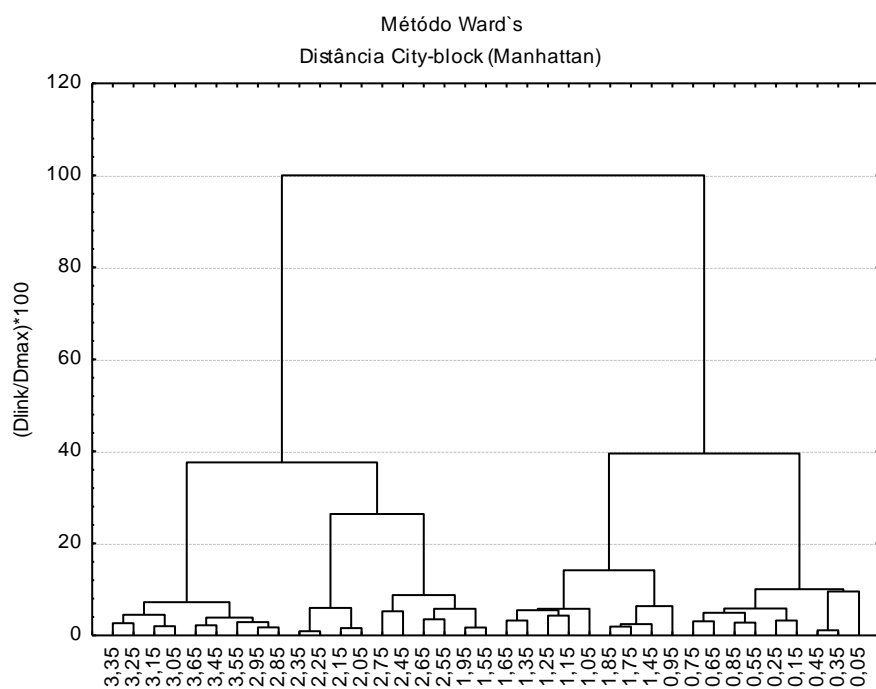


Figura 37: Agrupamento das amostras (Modo Q) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para o testemunho CF10-01C.

- CF10-15C

A análise de agrupamento (Modo R) agrupou as variáveis de acordo com a correlação de Sperman, gerando três grupos, a partir da divisão com 70% de similaridade: o grupo I, representado apenas pelo carbono orgânico total, o grupo II, representado pelo enxofre, proteínas e lipídios e o grupo III, com os carboidratos, carbono biopolimérico e o número de células (Figura 38).

A análise de agrupamento (Modo Q) agrupou as variáveis de acordo com a correlação de Sperman, gerando três grupos, a partir da divisão com 40% de similaridade, demonstrando certa homogeneidade das amostras (Figura 39). Onde no grupo I agruparam-se em geral as amostras do topo do testemunho, referentes aos primeiros 2 metros. Neste grupo foi encontrada a maior teor de COT e o menor teor de S, na mesma profundidade (0,05m). Nos biopolímeros, as menores concentrações de carboidrato ficaram evidentes. O metabolismo bacteriano ficou marcado com a presença de aerobiose, fermentação e desnitrificação. Um segundo grupo representou a porção medial do testemunho (1,85 – 2,85m). Com as maiores concentrações de carboidrato e apenas presença do metabolismo fermentativo. O terceiro grupo representado pela base do testemunho (2,95 – 4,35m) apresentou apenas o metabolismo fermentativo.

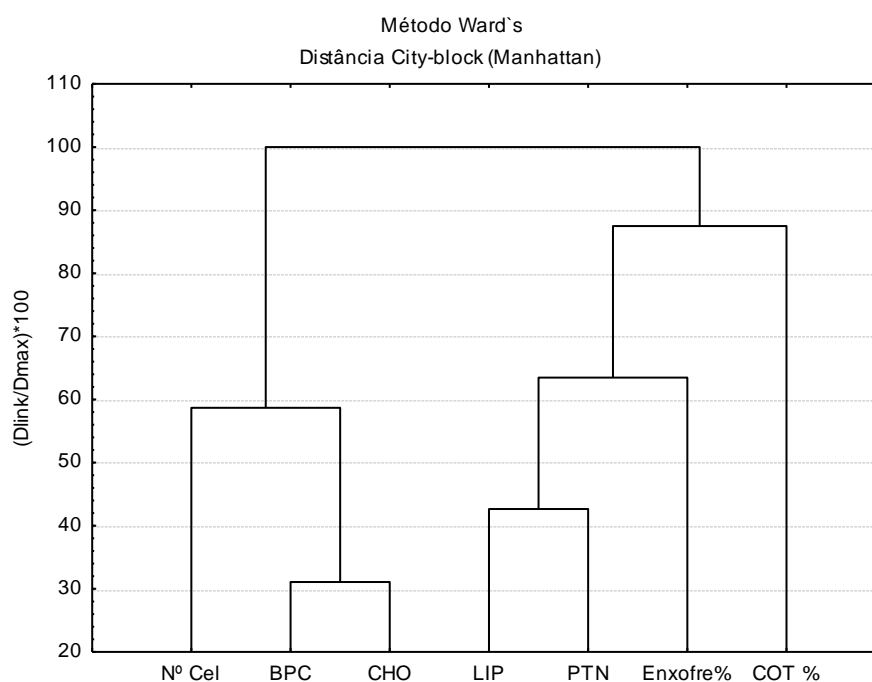


Figura 38: Agrupamento das variáveis (Modo R) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para o testemunho CF10-15C.

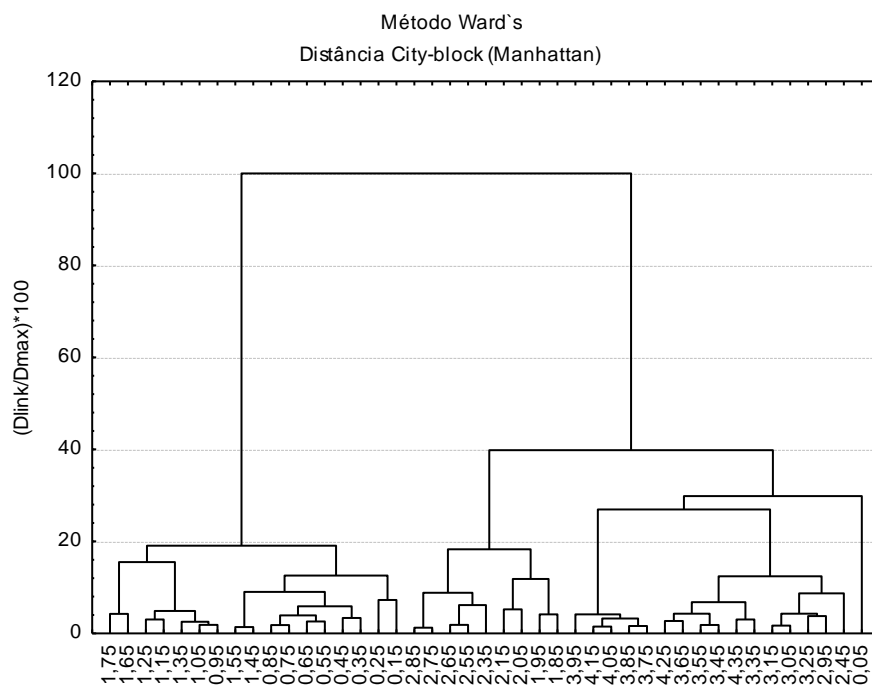


Figura 39: Agrupamento das amostras (Modo Q) utilizando método de Ward's e distância Manhattan para o testemunho CF10-15C.

7. DISCUSSÃO

Os resultados de carbono orgânico total (COT) e enxofre (S) indicaram que os teores dos sedimentos marinhos da área de Cabo Frio mostraram-se significativamente diferentes de outras importantes áreas de ocorrência do fenômeno de ressurgência, além de outras áreas estudadas, onde as médias dos teores são consideradas baixas em relação ao relatado na literatura. A tabela 6 apresenta a relação de diferentes locais de estudo. De uma maneira geral os sedimentos superficiais apresentaram uma distribuição homogênea nos teores de COT, S e razão COT:S (figura 40).

Mahinques *et al.*, (2005) ao avaliarem a sedimentação moderna da zona de ressurgência de Cabo Frio encontrou 0,76 – 1,73% de carbono orgânico para sedimentos superficiais. Morse e Emeis (1990) ao estudar os sedimentos de três importantes áreas de ressurgência estabeleceram relação entre as concentrações de carbono orgânico e enxofre, onde foram determinados teores médios de COT acima do encontrado no presente trabalho, assim como para os teores de S. Porém a razão COT:S encontrada para a área de Cabo Frio atingiu média superior.

Ao estudar a região estuarina do Rio Odiel (Espanha), Borrego *et al.* (1998) encontraram teores de carbono orgânico variando entre 0,22 – 9,6% com média de $2,40 \pm 2,74\%$ e enxofre com 0,14 – 3,03% e média de $0,73 \pm 0,41\%$. Estabelecendo uma relação média COT:S de 3.87. Mahinques *et al.* (1999) ao estudar a plataforma continental interna e média na região sudeste do Brasil, encontraram teores de carbono orgânico entre 0,41 - 13,14 mg/g (0,04 - 1,31%) e o enxofre 1,5 - 13,91 mg/g (0,15 – 1,39%). Berner *et al.* (1979) obteve para os sedimentos da Baía de Chesapeake (EUA) teores de carbono orgânico variando entre 1,84 – 13,66%, para o enxofre foi determinado 0,13 – 1,36%. Estabelecendo uma relação COT:S variando entre 1.4 – 34.2. Bottcher *et al.* (2000) ao analisar um testemunho de 2,2m no Mar do Norte, verificou um variação de 1,01 – 3,33% de COT ao longo deste. Gao *et al.* (2007) determinou conteúdos de COT em quatro estações no Mar da China e obteve valores entre 0,26 – 1,68%.

Realizando um acompanhamento das condições ambientais da Baía de Guanabara, Santos *et al.* 2008 verificaram que no espaço de três anos os sedimentos superficiais demonstraram variações. Onde em 2005, o COT variou entre 0,30 - 6,20%, e o enxofre (S), entre 0,01 - 1,40%. Em 2008, o COT e o S variaram entre 0,58 – 5,90% e 0,10 – 2,10%, respectivamente. A razão COT:S variou de 2.8 a 7.7 em 2005 e de 2.5-5.9 em 2008, sendo que os valores medianos foram 4,8 em 2005 e 3,7 em 2008, indicando que o ambiente tem características redutoras. Por ser um ambiente que sofre intensamente com o impacto de atividades ligadas a

indústria e descarte de esgoto *in natura*, o estuário da Baía de Guanabara vem sendo estudado por vários autores que encontraram valores semelhantes de COT (Eichler *et al.*, 2002; Vilela *et al.*, 2003; Mendonça-Filho *et al.*, 2003; Fernandez *et al.*, 2005).

Em estudos realizados na Antártica, na Baía de Terra Nova (Baldi *et al.*, 2010) determinaram teores de carbono total com concentrações entre 0,15 – 1,08%.

A razão COT:S é utilizada por diversos autores para identificar a ocorrência de sulfato redução no ambiente, onde valores abaixo de 3 indicam ambientes redutores e acima de 3 oxidante (Berner, 1995; Borrego *et al.*, 1998). Neste trabalho os valores obtidos para a razão COT:S variou de 4.61 - 12.12 para os sedimentos superficiais, indicando que o ambiente possui características oxidantes.

Tabela 6: *Quantificação dos teores de COT, S e razão C/S em sedimentos superficiais de diferentes locais de estudo.*

Local	COT% *	S% *	C/S	Referência
Cabo Frio/RJ	1,13±0,26*	0,14±0,05*	8,6	Presente trabalho
Cabo Frio/RJ	0,76 - 1,73%	-	-	Mahinques, 2005
África - Benguela	3,97±2,14*	0,87±0,28*	4,56	Morse e Emeis, 1990
Mar da Arábia - Oman	2,93±1,36*	0,41±0,13*	7,15	Morse e Emeis, 1990
Oceano Pacífico - Peru	3,70±1,17*	0,87±0,27*	4,25	Morse e Emeis, 1990
Rio Odiel (Espanha)	0,22 - 9,6%	0,14 - 3,03%	3,87	Borrego et al., 1998
Baía de Guanabara/São Francisco do Sul	0,04 - 1,31%	0,15 - 1,39%	-	Mahinques et al., 1999
Baía de Chesapeake (EUA)	1,84 - 13,66%	0,13 - 1,36%	1.4 - 34.2	Berner et al., 1979
Mar da China	0,26 - 1,68%	-	-	Gao et al., 2007
Baía de Terra Nova - Antártica	0,15 - 1,8%	-	-	Baldi et al., 2010
Baía de Guanabara	0,30 - 6,20%	0,01 - 1,40%	2.8 - 7.7	Santos et al., 2008
	0,58 - 5,90 %	0,10 - 2,10%	2.5 - 5.9	

* (média ± D.P)

Aplicando a classificação da qualidade dos sedimentos proposta por Tyson (1995) com base no carbono orgânico total, a região de Cabo Frio apresenta um potencial entre razoável e bom para geração de hidrocarbonetos (tabela 7).

Tabela 7: *Classificação da qualidade dos sedimentos quanto ao teor de carbono orgânico total - COT (Tyson, 1995).*

Potencial (qualidade)	COT(wt%)
Pobre	< 0,5
Razoável	0,5 - 1,0
Bom	1,0 - 2,0
Muito bom	2,0 - 4,0
Excelente	> 4,0

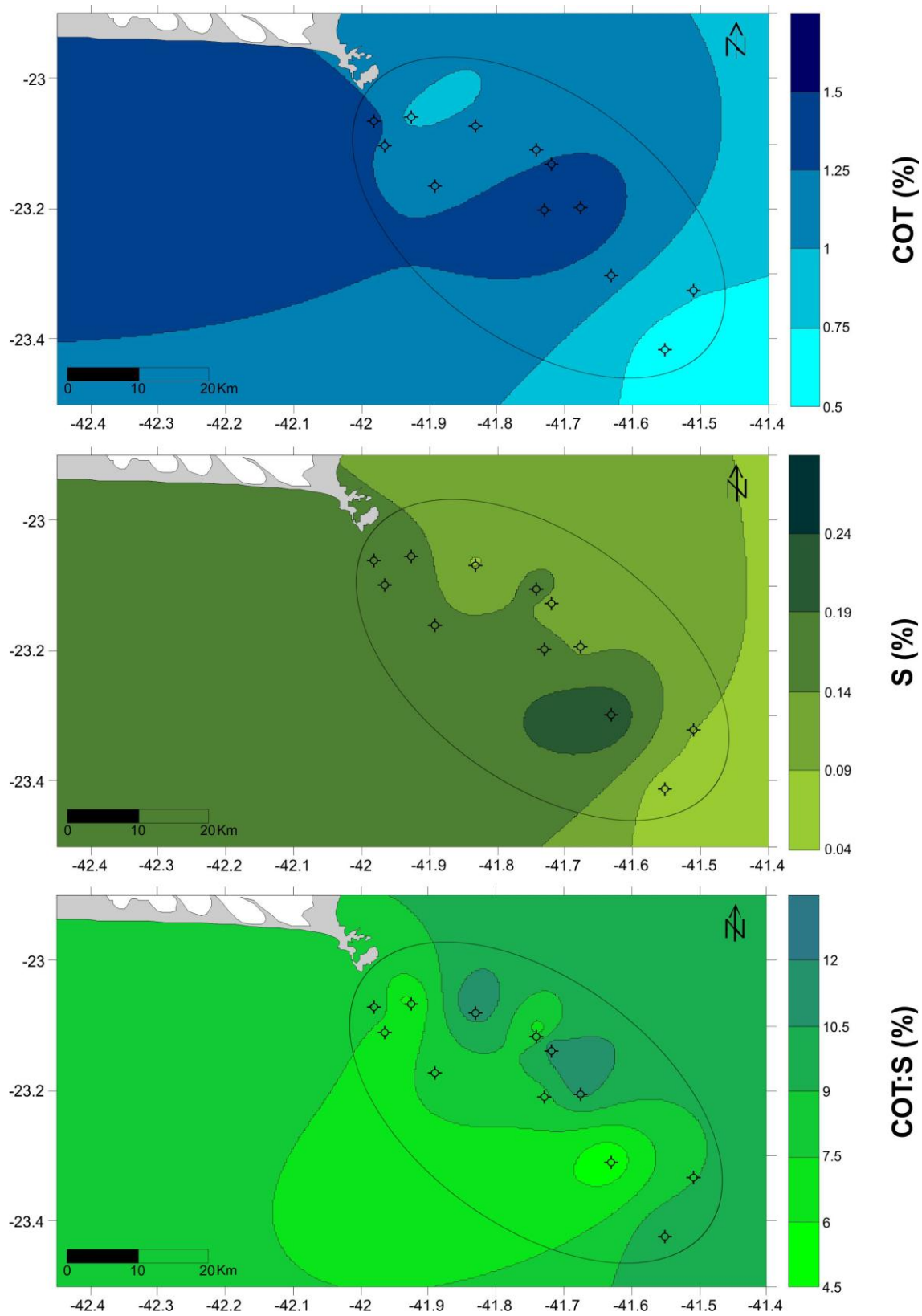


Figura 40: Distribuição do COT, S e razão COT:S nos sedimentos superficiais.

A composição bioquímica da matéria orgânica (carboidratos, proteínas e lipídios) é uma ferramenta utilizada quando se deseja caracterizar e interpretar a origem da matéria orgânica acumulada no ambiente marinho (Colombo *et al.* 1996), onde as proteínas e lipídios podem estar associados a origem antrópica da matéria orgânica, enquanto os carboidratos, que são os maiores constituintes da matéria orgânica, são mais relacionados a origem fitoplanctônica e detritica (Cotano e Villate, 2006; Bertol *et al.* 2004). Além disso, os biopolímeros servem também como ferramenta útil na qualificação da matéria orgânica disponível como alimento para os consumidores (Fabiano e Danovaro, 1994; Dell'Anno *et al.* 2000; Cividanes *et al.* 2002).

A figura 41 demonstra que dentre os componentes biopoliméricos, conforme a literatura, as concentrações das proteínas e lipídios estão mais elevados nas regiões mais proximais, enquanto que os carboidratos em regiões mais distais.

Pusceddu *et al.* (1999) encontraram concentrações de carboidratos, proteínas e lipídios que variaram de 0.76-70.53 mg.g⁻¹, 2.16-12.1 mg.g⁻¹ e 0.26-4.47 mg.g⁻¹, respectivamente, no Mediterrâneo. Dell'Anno *et al.* (2002) encontraram valores semelhantes de proteína, carboidratos e lipídios na Costa de Puglia (Itália). Cotano e Villate (2006) estudaram duas regiões estuarinas, onde em Mundaka determinaram baixas concentrações médias dos carboidratos 0,25 mg.g⁻¹, para as proteínas 0,54 mg.g⁻¹ e nos lipídios 0,24 mg.g⁻¹. Já no estuário de Bilbao as concentrações médias dos biopolímeros foram superiores, onde os carboidratos 0,54 mg.g⁻¹, as proteínas 2,56 mg.g⁻¹ e os lipídios 0,97 mg.g⁻¹.

Baldi *et al.* (2010) determinou concentrações de biopolímeros na Baía de Terra Nova (Antártica), onde as médias de carboidratos variaram de 5 (±0.5) – 284 (±19) mg.g⁻¹, as proteínas 60 (±5) – 1034 (±44) mg.g⁻¹ e os lipídios com 50 (±4) – 306 (±19) mg.g⁻¹. A fração biopolimérica do carbono orgânico sedimentar tem sido muitas vezes referida como a fração de carbono orgânico total potencialmente disponível para os consumidores bentônicos (Danovaro *et al.*, 2001; Dell'Anno *et al.*, 2002).

Além de contabilizar os biopolímeros, Baldi *et al.* (2010) a fim de se avaliar os componentes lábeis do carbono orgânico converteu-os em equivalentes de carbono, onde a média da porcentagem da composição do carbono biopolimérico (BPC) foi de 52.2% ±10.7 de proteínas, os lipídios com 36.5%±10.7 e os carboidratos com 11.3%±6.7. Sendo o principal componente do BPC as proteínas, seguida dos lipídios e carboidratos.

Aos investigar os sedimentos dos canyons e das margens continentais de Portugal, do Catalão, no sul Adriático e do Mar de Creta, Pusceddu *et al.* (2010) determinaram concentrações de proteínas variando entre 0,14 – 3,67 mg.g⁻¹, as concentrações de

carboidratos ficou entre 0,36 – 4,9 mg.g⁻¹ e os lipídios entre 0,02 – 1,4 mg.g⁻¹. E o total da concentração do carbono biopolimérico variou de 0,32 – 3,8 mg.g⁻¹.

A relação média da bioquímica da composição orgânica sedimentar para a região de Cabo Frio (LIPÍDIOS>CARBOIDRATOS>PROTEÍNAS) com as porcentagens de lipídeos (52%)>carboidratos (33%)> proteínas (15%), que foi diferenciada em relação ao relatado na literatura para sedimentos superficiais em outras regiões (CARBOIDRATOS>PROTEÍNAS>LIPÍDIOS) (Pusceddu *et al.*, 1999; Dell'Anno *et al.*, 2002). Chequer (2010) ao estudar o delta do Rio Paraíba do Sul estabeleceu a seguinte relação (PROTEÍNAS>LIPÍDIOS>CARBOIDRATOS). Cotano e Villate (2006) calcularam ainda o somatório de todas as porções proteínas, lipídios e carboidratos, que foi definido como fração lábil ou fração orgânica de fácil assimilação. Com isso, encontraram a relação PROTEÍNAS>LIPÍDIOS>CARBOIDRATOS.

Pusceddu *et al.*, (2011) analisando o estado trófico da região do Norte Adriático e do Mar Tirreno de frente para a costa das regiões de Veneto e Campania, verificou que os sedimentos da região de Veneto foram caracterizados por o domínio global dos carboidratos (média de 62%), seguido das proteínas (20%) e lipídios (18%), que contribuição para biopolímeros C. Sedimentos da região da Campania foram caracterizados pelo predomínio de carboidratos (média de 42%), de proteínas (33%) e lipídios (25%).

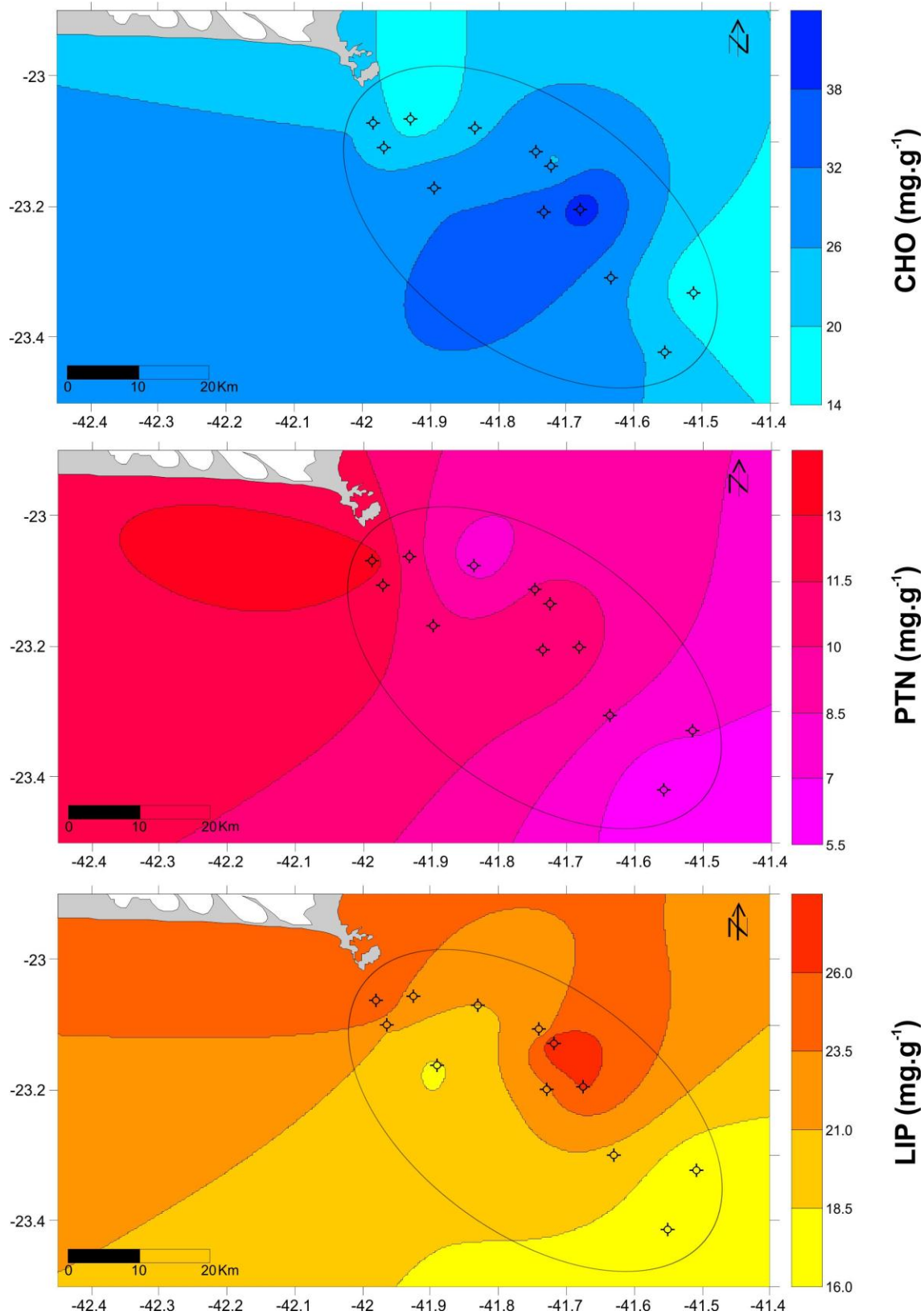


Figura 41: Distribuição dos biopolímeros nos sedimentos superficiais.

Diversos autores utilizam a razão PROTEÍNA:CARBOIDRATO como parâmetro de avaliação ambiental. Cotano e Villate (2006) consideram que valores altos na razão PROTEÍNA:CARBOIDRATO indicam que o material de origem antrópica encontra-se pobremente decomposto. Além disso, a razão está diretamente ligada a importância da fração nitrogenada da material orgânica (Fabiano *et al.*, 1999; Martin *et al.*, 1987). Áreas produtivas, como os ambientes estuarinos e regiões costeiras, tendem a ter altos valores das razões de PROTEÍNA:CARBOIDRATO (0,00– 12,40). A região de Cabo Frio apresentou variações (0,23 – 0,75) dentro desta faixa, porém com valores baixos, necessitando novos trabalhos e estudos nesses tipos de regiões para a criação de um novo índice para áreas costeiras tropicais (figura 43).

Dell'Anno *et al.* (2002) estabeleceram uma outra relação entre níveis de PROTEÍNA e CARBOIDRATO, no qual servem como indicativos dos níveis tróficos dos sistemas costeiros: meso-oligotrófico (proteínas <1,5 mg.g⁻¹; carboidratos <5 mg.g⁻¹), eutrófico (proteínas 1,5 - 4 mg.g⁻¹; carboidratos 5 - 7 mg.g⁻¹) e hiper-trófico (proteínas >4 mg.g⁻¹; carboidratos >7 mg.g⁻¹). Contudo, a região de ressurgência da costa brasileira não se enquadra nos índices estabelecidos pelos autores, indicando a necessidade de se estabelecer novos índices de níveis tróficos presentes para regiões que ocorram o fenômeno de ressurgência (Tabela 8).

Tabela 8: Estado trófico dos sistemas costeiros.

Estado trófico	PTN	CHO
Oligo-mesotrófico	< 1,5	< 5
Eutrófico	1,5 - 4,0	5,0 - 7,0
Hipertrófico	> 4,0	> 7,0

PTN (mg.g⁻¹); CHO (mg.g⁻¹)

Paez-Osuna *et al.* (1998) utilizam a razão CHO:COT para distinção qualitativa ou semi-qualitativa da matéria orgânica de origem autóctone e alóctone, cujos valores <20 indicam uma matéria orgânica de origem natural (marinha ou terrestre) e valores superiores, origem de atividade de indústria de cana-de-açúcar. Os mesmos autores dizem ainda que valores em torno de 30 podem talvez indicar aporte de esgoto. Na região de Cabo Frio, os sedimentos superficiais da plataforma obtiveram uma razão média para CHO:COT de 23,78, chegando a atingir valores máximos de 39,37 (figura 42). Considerando que a área estudada é

uma área oceânica de ressurgência e de alta produtividade novos trabalhos deverão ser realizados para adequar a aplicação desta razão.

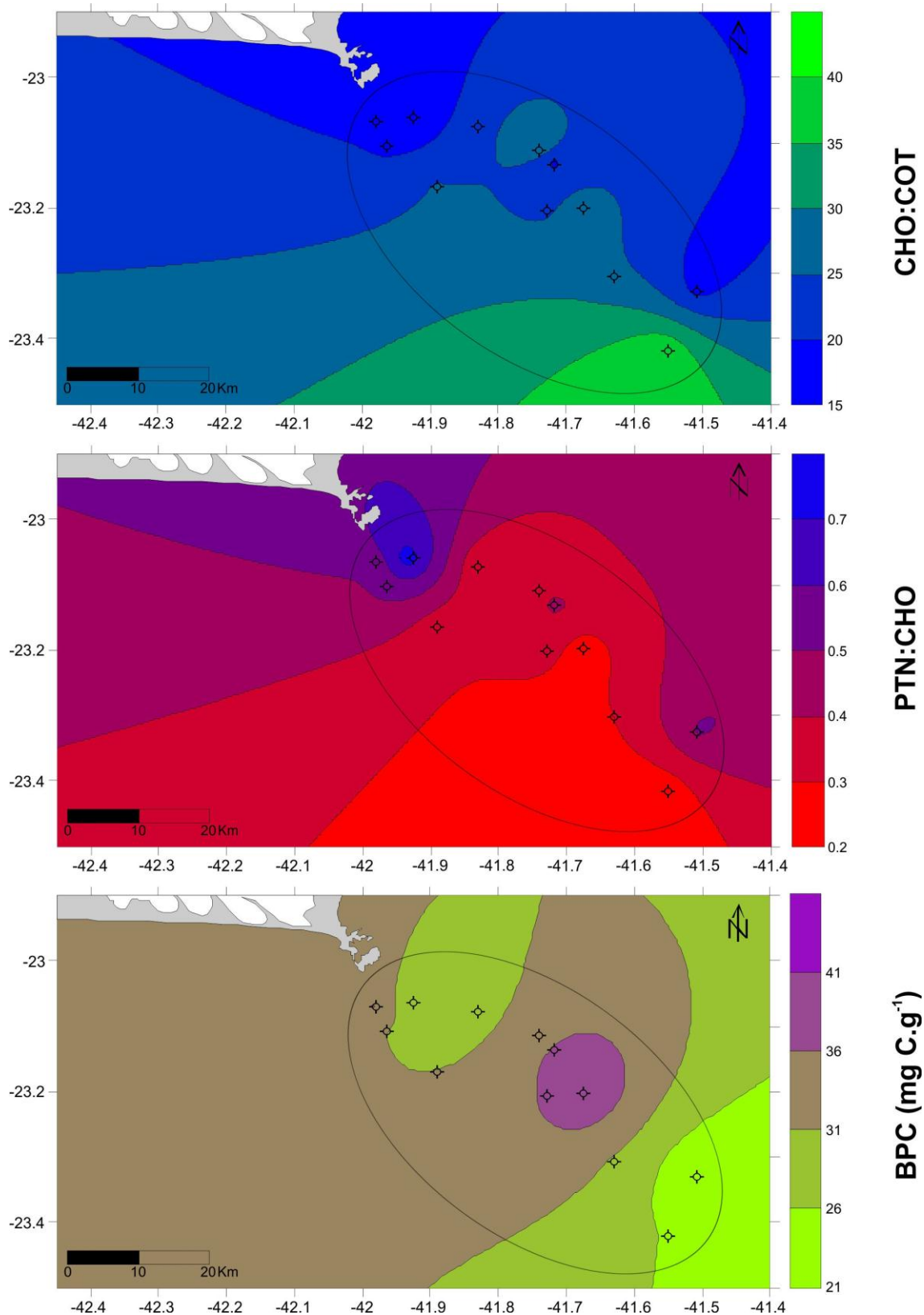


Figura 42: Razões CHO:COT, PTN:CHO e BPC para os sedimentos superficiais.

A desidrogenase é uma enzima intracelular e sua atividade está ligada diretamente ao consumo de O₂ e, conseqüentemente, é um método que avalia células viáveis e geração de adenosina trifosfato (ATP). A ASTE existe em organismos aeróbios e anaeróbios e é frequentemente usada como um índice do metabolismo e, portanto, está relacionada com a biomassa. Quanto maior a concentração dessa enzima maior o número de células bacterianas metabolicamente ativas no sedimento. Nos sedimentos superficiais, os resultados da ASTE demonstram para todas as estações que as bactérias presentes estão metabolicamente ativas (figura 43).

A exoenzima esterase, que está ligada diretamente a diagênese da matéria orgânica, são responsáveis pela hidrólise de macromoléculas no exterior da célula bacteriana (Hoppe e Ullrich, 1999; Hoppe *et al.*, 2002). Sua atividade não ficou evidente em todas as estações e as baixas concentrações encontradas expressam que a matéria orgânica sedimentada se encontra, em sua maioria, no tamanho adequado para utilização bacteriana (figura 43). Podendo assim consumi-la, assimilando ou transportando para o interior da células moléculas de ≤ 600 Da com baixo gasto energético (Weiss *et al.*, 1991).

Crapez *et al.* (2001) encontraram para a atividade de enzima esterase 0,54 $\mu\text{g fluoresceína.h}^{-1}.\text{g}^{-1}$ e atividade do sistema de transportador de elétrons 0,31 $\mu\text{L de O}_2.\text{h}^{-1}.\text{g}^{-1}$ em sedimentos de areia da praia de Boa Viagem (Baía de Guanabara).

Crapez *et al.* (2003) mostraram que a atividade esterase apresentaram um padrão diferente, uma vez que atingiu um máximo de 0,17 $\mu\text{g fluoresceína.h}^{-1}.\text{g}^{-1}$ no inverno e a atividade do sistema transportador de elétrons atingiu um máximo de 7,48 $\mu\text{L de O}_2.\text{h}^{-1}.\text{g}^{-1}$ no verão nos sedimentos da praia de Boa Viagem, na Baía de Guanabara.

Enzimas esterase e desidrogenase foram maiores em amostras no Porto de Niterói (Baía de Guanabara/SE), 3,63 $\mu\text{g fluoresceína.h}^{-1}.\text{g}^{-1}$ e 3,38 $\mu\text{L O}_2.\text{h}^{-1}.\text{g}^{-1}$, respectivamente (Baptista-Neto *et al.*, 2005). Sem grandes variações, as enzimas esterases variaram entre 1,25 e 4,69 $\mu\text{g fluoresceína.h}^{-1}.\text{g}^{-1}$ em 30 amostras de sedimentos superficiais da Baía de Guanabara, com média de 3,20 $\mu\text{g fluoresceína.h}^{-1}.\text{g}^{-1}$ (Silva *et al.*, 2008).

A densidade populacional bacteriana verificada foi alta, porém não ocorreram grandes variações em sua biomassa ($\approx 10^8 - 10^{10}$ células.g⁻¹) (figura 43). Baldi *et al.* (2010) também avaliou a abundância bacteriana em diferentes pontos da Baía de Terra Nova (Antártica), onde foram encontradas biomassas bacterianas variando com médias entre $6.1 \times 10^6 (\pm 1.1 \times 10^4)$ e $4.3 \times 10^7 (\pm 1.1 \times 10^5)$ células.g⁻¹. Comparando o presente trabalho no qual se encontra em uma área tropical de ocorrência de ressurgência, os sedimentos apresentaram uma densidade bacteriana maior do que o encontrado na literatura.

A atividade respiratória bacteriana apresentou resultados onde ficou clara a preferência dos tipos de metabolismos exercidos pelas bactérias na hidrólise da matéria orgânica, sendo eles: a aerobiose, fermentação e desnitrificação. A fonte de energia metabólica aeróbia bacteriana produz 500 kJ/mol, enquanto que as anaeróbias facultativas, desnitrificação e redução sulfato, são menos rentáveis e produzem 50, 100 e 170 kJ / mol, respectivamente (Edwards *et al.*, 2005). A presença de bactérias realizando metabolismos aeróbios pode estar relacionada ao fenômeno da ressurgência, que além de ressuspender o material já depositado no leito marinho, processo importante, pois disponibiliza novamente os nutrientes para a coluna d'água, aumenta a disponibilidade de oxigênio. Mesmo sendo um ambiente profundo, que a princípio deveria ser anóxico, as bactérias possuem a habilidade de realizar metabolismos fermentativos e desnitrificantes na presença de baixíssimos níveis de oxigênio dissolvido.

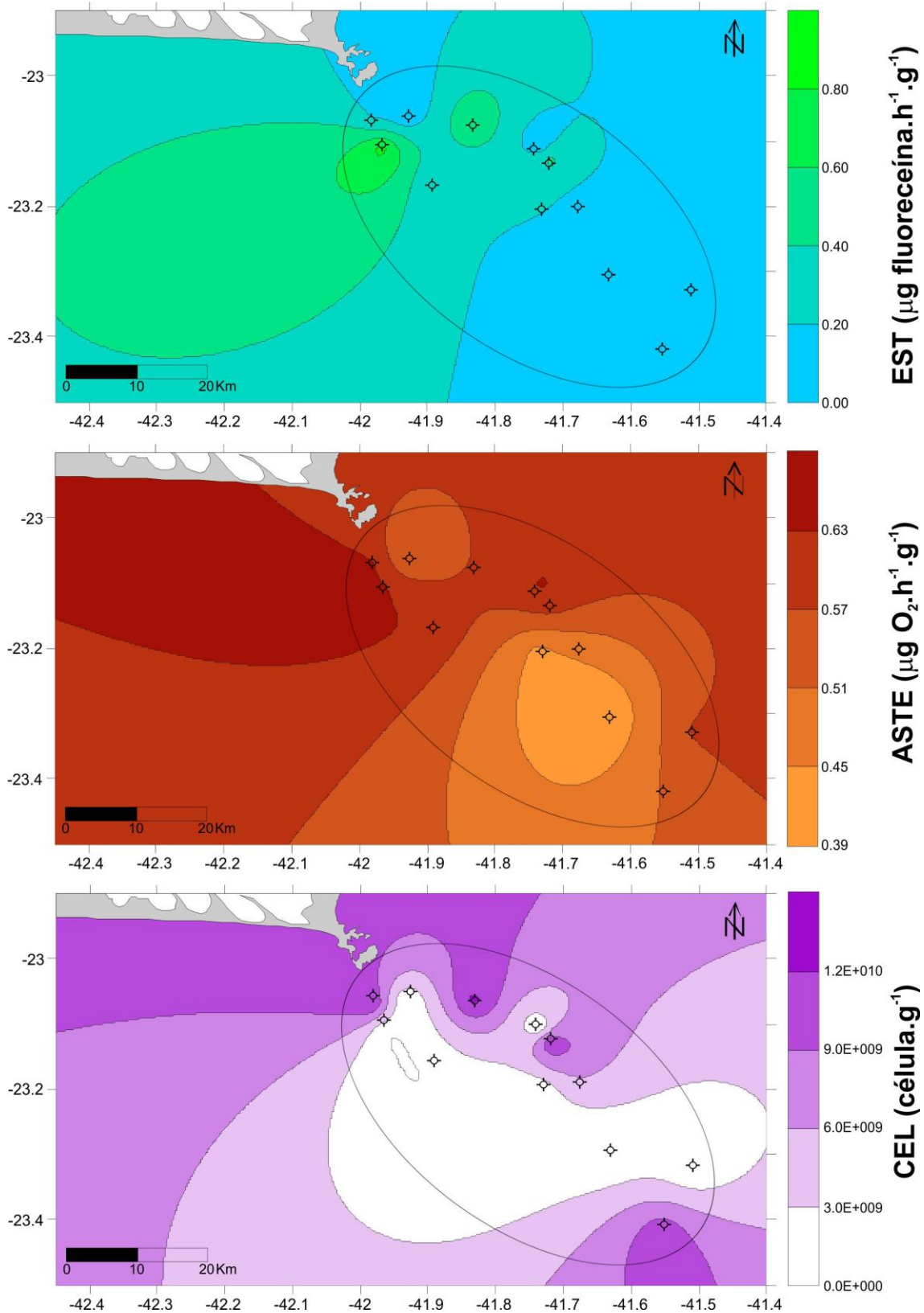


Figura 43: Atividade enzimática e número de células nos sedimentos superficiais.

Os *kullebergs* CF10-15C e CF10-01C quando comparados às idades já demonstram que existem dois sistemas de sedimentação diferenciados, onde o CF10-15C que é o *kulleberg* mais proximal com 4,35 m tem aproximadamente 7 mil anos passados do meio para a base do *kulleberg* (datação feita nas profundidades de 2,80 e 4,10 m). O *kulleberg* CF10-01C, que está mais distal na plataforma continental tem uma sedimentação maior em termos de idade, que engloba toda a sedimentação do CF10-15C apesar de ser um *kulleberg* menor (3,70 m). Suas datações estão nas profundidades de 0,30; 1,90 e 2,65 m representando 2000, 8500 e 9000 anos passados (respectivamente).

Quando comparados os *kullebergs* em termos de teor de carbono orgânico e enxofre não houve muita variação entre eles, se mantendo com os mesmo teores em ambos (figura 44 e 45).

A razão C:S é utilizada por diversos autores para identificar a ocorrência de sulfato redução no ambiente, onde valores abaixo de 3 indicam ambientes redutores e acima de 3 oxidante (Berner, 1995; Borrego *et al.*, 1998). Neste trabalho os valores obtidos para a razão C:S foram entre 1.21- 6.69 para o *Kulleberg* CF10-01C e 1.83 – 7.97 para o CF10-15C, indicando que o ambiente possui características oxidantes, porém com características redutoras a medida que ocorre a sedimentação ao longo do tempo.

A composição bioquímica apresenta uma pequena variação, pois os carboidratos no *kulleberg* CF10-15C são mais degradados e ficam pouco preservados até a profundidade aproximada de 1,5 m, no *kulleberg* CF10-01C a sedimentação já é mais homogênea com uma tendência de queda para a base, contudo considerando a sedimentação de 7000 anos passados do *kulleberg* CF10-15C estar contido na sedimentação do CF10-01C, demonstra uma preservação semelhante dos teores de carboidratos em ambos os *kullebergs* considerando a idade (figura 44 e 45).

Os teores de proteínas no CF10-01C são superiores ao CF10-15C, apresentando-se de modo geral maiores que 5 mg.g^{-1} , contudo há um intervalo entre 2 m e 2,5 m (aproximadamente) tem uma elevação nos teores, indicativo de uma produção bacteriana seja autotrófica ou heterotrófica. No CF10-15C a média dos teores de proteínas é de $3,29 \text{ mg.g}^{-1}$, indicando que a produção/consumo das proteínas é equivalente, uma vez que esse componente bioquímico é usado por toda teia trófica, já que compostos nitrogenados são limitantes no meio marinho e usados para a formação de novas proteínas (figura 44 e 45).

Os teores de lipídios no *kullebergs* CF10-15C apresenta maiores valores que no CF10-01C. Nesse *kulleberg* mais distal (CF10-01C), apesar de uma concentração de teores de lipídios menores que está sedimentado, pode estar diretamente ligado a maior influencia da

coluna d'água (profundidade), que auxilia o ataque e atuação da degradação bacteriana em cima dos lipídeos durante o processo de sedimentação, chagando ao sedimento os lipídeos mais recalcitrantes e de difícil degradação (figura 44 e 45).

A atividade enzimática bacteriana das esterases que são responsáveis pela quebra de matéria orgânica em componentes menores, apresentam em ambos *kullebergs* valores semelhantes aos sedimentos superficiais da mesma área, contudo em função da grande coluna d'água são atividades baixas comparados com sedimentos costeiros e estuarinos. Já a enzima desidrogenases que indicam produção ATP e metabolismo bacteriano ativo, se apresentam também em ambos os *kullebergs* apesar da profundidade da coluna sedimentar encontram-se ativas demonstrando que a matéria orgânica está abundante e na dimensão ideal para consumo (<600Da) (figura 44 e 45).

O número de células bacterianas nos *kullebergs* é alto e acima da média (aproximadamente $10^8 - 10^{10}$ células.g⁻¹ de sedimento), quando comparados com sedimentos costeiros e estuarinos atuais. E esse maior número de células bacterianas corrobora com a atividade das enzimas desidrogenases, demonstrando que as bactérias não estão quebrando matéria orgânica, mas sim, consumindo matéria orgânica <600 Da, e direcionando a atividade energética (uso do ATP) para crescimento e biomassa bacteriana (figura 44 e 45). E que associado ao metabolismo predominante foi das bactérias anaeróbias facultativas (metabolismo fermentativo), que pode ocorrer tanto em presença quanto ausência de oxigênio, tendo um alto ou baixo ganho energético.

O carbono biopolimérico (BPC) é o somatório dos teores de biopolímeros convertidos em carbono biodisponível, que em ambos os *kullebergs* se apresentam na mesma faixa de teores (figura 45 e 46). As composições dos *kullebergs* estão diretamente ligadas aos carboidratos (67%), seguido de lipídeos (18%) e proteínas (15%), para o CF10-01C e semelhante para o CF10-15C com carboidratos (53%) seguido de lipídeos (41%) e proteínas (6%), com apenas variações em suas concentrações.

O teor de carbono orgânico total e o carbono biopolimérico apesar de não ter havido variações entre os *kullebergs*, puderam mostrar que o que está sendo depositado e sedimentado tem origens diferentes onde o CF10-01C mais rico em carboidratos e com as percentagens de proteínas e lipídeos comparados com de regiões oceânicas e de produtividade autóctone. Enquanto, que no CF10-15C com um percentual bem maior de lipídios, se comparados com sistemas costeiros e estuarinos.

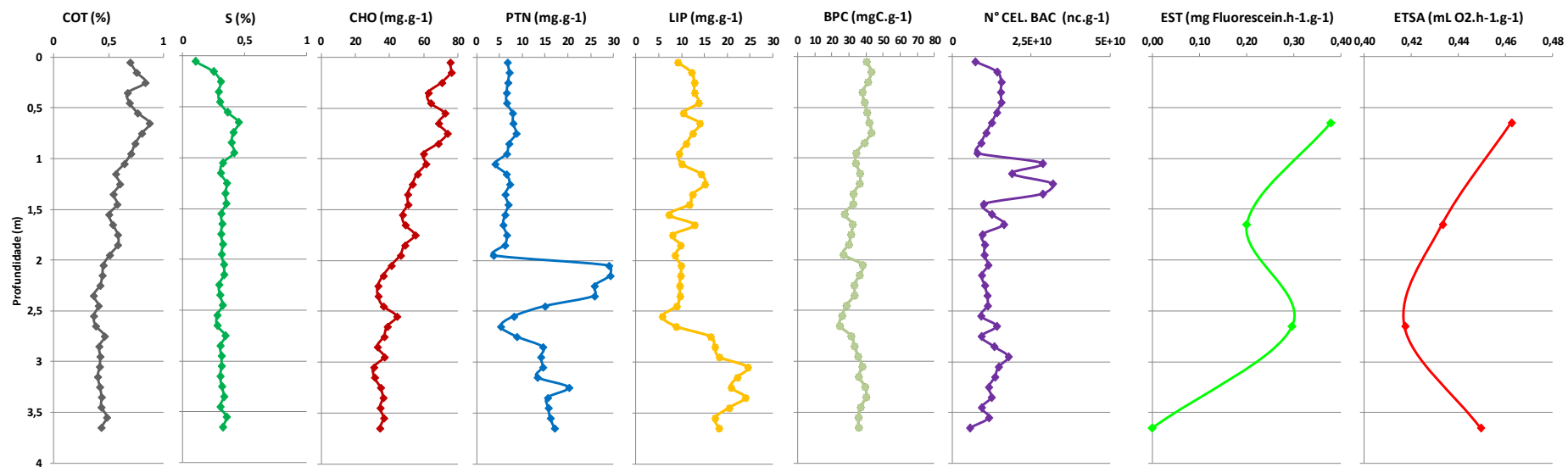


Figura 44: Agrupamento das análises geoquímicas e bioquímicas do testemunho CF10-01C.

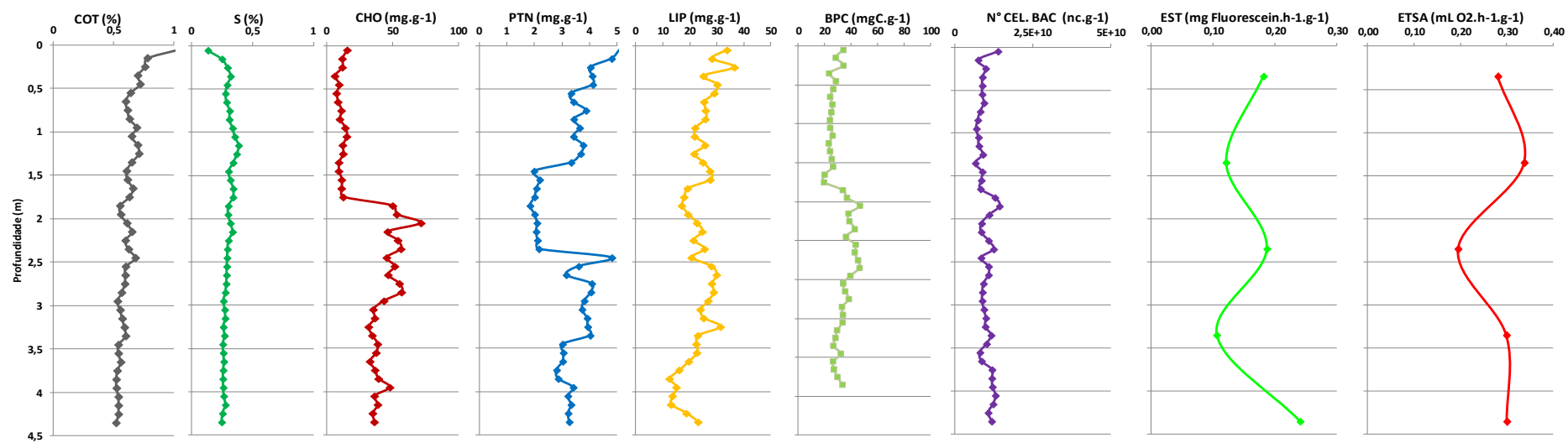


Figura 45: Agrupamento das análises geoquímicas e bioquímicas do testemunho CF10-15C.

8. CONCLUSÃO

Os resultados de carbono orgânico total e enxofre indicaram que a composição destes teores nos sedimentos da área de Cabo Frio mostraram-se significativamente diferentes de outras importantes áreas de ocorrência do fenômeno. De uma maneira geral os sedimentos superficiais apresentaram uma distribuição homogênea nos teores de COT, S. A razão COT:S nos sedimentos superficiais indicaram que o ambiente possui características oxidantes e mesmo assim são classificados quanto a qualidade com potencial entre razoável e bom para geração de hidrocarbonetos.

Já nos *kullebergs* não houve variação dos teores e entre eles. O teor de carbono orgânico total e o carbono biopolimérico apesar de não terem variações entre os *kullebergs* puderam mostrar que o que está sendo depositado tem origens diferentes onde o CF10-01C mais rico em carboidratos e com as percentagens de proteínas e lipídeos comparados com de regiões oceânicas e de produtividade autóctone. Enquanto, que no CF10-15C com um percentual bem maior de lipídeos, se comparados com sistemas costeiros e estuarinos.

Os componentes biopoliméricos, conforme as literaturas apresentaram concentrações de proteínas e lipídios elevadas nas regiões mais proximais, enquanto que os carboidratos em regiões mais distais. A relação média da composição bioquímica da matéria orgânica sedimentar para a região de Cabo Frio (LIPÍDIOS>CARBOIDRATOS>PROTEÍNAS) foi diferenciada em relação ao relatado na literatura para sedimentos superficiais em outras regiões

A região de Cabo Frio por possuir características ambientais diferenciadas não se enquadrou nos índices estabelecidos para a razão PTN:CHO, a relação PROTEÍNAS e CARBOIDRATOS e razão CHO:COT, necessitando novos trabalhos e estudos para esse tipo de região e criação de novos índices para áreas costeiras tropicais com ressurgência.

Nas atividades enzimáticas, o sistema transportador de elétrons apresentou atividade elevada, enquanto que as enzimas esterases apresentaram baixas atividades. A densidade populacional bacteriana verificada foi alta, porém não ocorreram grandes variações em sua biomassa. Com base nos resultados obtidos, a presença destes metabolismos aeróbicos pode estar relacionada à disponibilidade de O₂ trazido pela ressurgência. Verificou-se também, que as bactérias presentes nos sedimentos da região estão metabolicamente ativas no ambiente, apresentando baixos gastos energéticos na quebra da matéria orgânica, demonstrando que esta se encontra em abundância e na dimensão ideal para consumo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, E.; GAETA, S. A.; GIANESELLA-GALVÃO, S.M.F.; KUTNER, M. B. B.; TEIXEIRA C. 1993. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba (SP). *Publicação esp. Inst. oceanogr.*, São Paulo, (10):9-43.

ALEF, R. & NANNIPIERI, P. 1995. Enrichment isolation and counting of soil microorganisms. In: *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, p.123-186.

ALHANATI, L.S. 2012. A física e as mudanças climáticas - As correntes oceânicas. (<http://alfaconnection.net/meio%20ambiente/correntes%20oceanicas.htm>). Acessado em 14.jan.2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), 2008. Standard test methods for Sulfur in the analysis sample of coal and coke using high-temperature tube furnace combustion methods. ASTM D 4239.

ARTUSI, L. 2007. Geologia, Geomorfologia e sismoestratigrafia rasa da plataforma continental ao largo da laguna de Araruama-RJ. Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense, RJ: Dissertação de mestrado.

AZAM, F.; FENCHEL, T.; FIELD, J.G.; GRAY, J.S.; MEYER-REIL, L.A.; THINGSTAD, F. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10:257-263.

BALDI, F.; MARCHETTOA, D.; PINIA, F.; FANIB, R.; MICHAUDC, L.; GIUDICEC, A. L.; BERTOD, D.; GIANI, M. 2010. Biochemical and microbial features of shallow marine sediments along the Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Continental Shelf Research*. Volume 30, Issue 15, 1, p.1614–1625.

BAPTISTA NETO, J.A.; CRAPEZ, M.; VILELA, C., MCALLISTER, J.J. 2005. Concentration and bioavailability of heavy metals in sediments from Niterói harbour/S.E. Brazil. *J Coast Res* 21(4):811–817.

BARBIERI, E.B., COE-NETO, R. 1999. Spatial and temporal variation of rainfall of the east fluminense coast and atlantic Serra do Mar, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS, B.A., BIDONE, E.D. E ABRÃO, J.J. (org). *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems*, Rio de Janeiro, Brazil. Niterói, EDUFF, Série Geoquímica Ambiental. p.47-56.

BERNER, R.A., BALDWIN, T., HOLDREN, G.R. 1979. Authigenic iron sulphides as paleosalinity indicators. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.49, p.1345-1350.

BERNER, R. A. 1995. Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis - a comment. *Marine Chemistry*, 49:121-122.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J e BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.28, p.485-494, 2004.

BIDLE, K.D.; AZAM, F. 1999. Accelerated dissolution of diatom silica by marine bacterial assemblages. *Nature*, 397: 508-512.

BLIGH, E.G; DYER W.J. 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Physiology*, 37: 911-917.

BLACK, J.G. 1999. *Microbiologia: fundamentos e perspectiva*. Editora Guanabara Koogan, 4ª edição, p.117-122.

BOKTTCHER, M.E., HESPENHEIDE, B., LLOBET-BROSSA, E. BEARDSLEY, C., LARSEN, C.O., SCHRAMM, A., WIELAND, A., TTCHER, G.B., BERNINGER, U.G., AMANN, A. 2000. The biogeochemistry, stable isotope geochemistry, and microbial community structure of a temperate intertidal mudflat: an integrated study. *Continental Shelf Research* 20 1749-1769.

BORREGO, J., LOPEZ, M., PENDON, J.G., MORALES, J.A. 1998. C/S Ratios in Estuarine Sediments of the Odiel River-mouth, S.W. Spain. *Journal of Coastal Research*, vol.14, p.1276-1283.

CARLUCCI, A. F.; CRAVEN, D. B.; ROBERTSON, K.J.; WILLIAMS, P. M. 1986. Surface-film microbial populations: diel amino acid metabolism, carbon utilization, and growth rates. *Marine Biology*, 92, 289-297.

CARVALHO, W.F.; RODRIGUEZ, E.R. 2004. Development of primary and bacterial productivity in upwelling waters of Arraial do Cabo region, RJ (Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, 52(1):35-45.

CHEQUER, L.P.T. 2010. Atividade bacteriana associada aos processos de contaminação por mercúrio no baixo Rio Paraíba do Sul. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, Brasil. 121p.

CIVIDANES, S.; INCERA, M. & LÓPEZ, J. 2002. Temporal variability in the biochemical composition of sedimentary organic matter in an intertidal flat of the Galician coast (NW Spain). *Oceanologica Acta*. V. 25, p. 1-12.

COLOMBO J.C., SILVERBERG N., GEARING J.N. 1996. Biogeochemistry of organic matter in the Laurentian Through, II. Bulk composition of sediments and relative reactivity of major components during early diagenesis. *Mar. Chem.*, 51: 295-314.

COTANO, U. & VILLATE, F. 2006. Anthropogenic influence on the organic fraction of sediments in two contrasting estuaries: A Biochemical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 52:404-414.

CRAPEZ, M. A. C; CAVALCANTE, A. C; BISPO, M. G. S & ALVES, P. H. 2001. Distribuição e atividade enzimática de bactérias nos limites inferior e superior entre-marés na Praia de Boa Viagem, Niterói, R.J., Brasil. In: MORAES, R.; CRAPEZ, M.; PFEIFFER, W.; FARINA, M.; BAINY, A. & TEIXEIRA, V. (eds.). Efeito de poluentes em organismos marinhos, São Paulo, Arte e Ciência, Villipress, p.129-138.

CRAPEZ, M.; BAPTISTA-NETO, J.A. & BISPO, M.G. 2003. Bacterial enzymatic activity and bioavailability of heavy metals in sediments from Boa Viagem beach (Guanabara bay). *Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ*, 26: 60-68.

CRAPEZ, M.A.C. 2007. Bactérias Marinhas. In: *Biologia Marinha*. Editora Interciência, Rio de Janeiro.

DANOVARO, R.; CROCE, N.D.; DELL'ANNO, A.; FABIANO, M.; MARRALE, D.; MARTORANO, D. 2000. Seasonal changes and biochemical composition of the labile organic matter flux in the Cretan Sea. *Progress in Oceanography*, 46:259–278.

DANOVARO, R.; DELL'ANNO, A.; FABIANO, M. 2001. Bioavailability of organic matter in the sediments of the Porcupine Abyssal Plain, northeastern Atlantic. *Marine Ecology Progress Series*, 220:25–32.

DAUMAS, R. 1989. Les bactéries de la couche superficielle du sédiment. In *Microorganismes dans les écosystèmes océaniques*. M. Bianchi (ed.). Ed. Masson, Paris, 1:201-218.

DAVIS, JOHN C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley and Sons, New York.

DELL'ANNO, A.; FABIANO, M.; MEI, M.L.; DANOVARO, R. 2000. Enzymatically hydrolysed protein and carbohydrate pools in deep-sea sediments: estimates of the potentially bioavailable fraction and methodological considerations. *Marine Ecology Progress Series*, 196: 15-23.

DELL'ANNO, A.; MEI, M.L.; PUSCEDDU, A.; DANOVARO, R. 2002. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 611-622.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350 – 56.

EDWARDS, K.J., BACH, W. AND MCCOLLOM, T.M. 2005. Geomicrobiology in oceanography: microbe-mineral interactions at and below the seafloor. *Trends Microbiology* 13, 449-455.

EHRlich, H.L. 2002. *Geomicrobiology*. Marcel Dekker, Inc. New York. Fourth Edition. 786p.

ESTEVEs, F.A. 1988. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência. FINEP.

FABIANO, M.; POVERO, P.; DANOVARO, R. 1993. Distribution and composition of particulate organic matter in Ross Sea (Antarctica). *Polar Biology*, 13: 525-533.

FABIANO, M.; DANOVARO, R. 1994. Composition of organic matter in sediments facing a river estuary (Tyrrhenian Sea): relationships with bacteria and microphytobenthic biomass. *Hydrobiologia*, 277, 71–84.

FABIANO, M.; DANOVARO, R.; FRASCHETTI, S. 1995. A three year time series of the elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy sediments of the Liguria Sea (North western mediterranean). *Continental Shelf Research*, 15 (11/12): 1453-1469.

FABIANO, M.; POVERO, P.; DANOVARO, R.; MISIC, C. 1999. Particulate organic matter composition in a semi-enclosed Periantartic system: the Strait of Magellan. *Scientia Marina*, 63(1): 89–98.

FENCHEL, T. 2008. The microbial loop – 25 years later. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 36: 99–103.

FERNADEZ, M. A.; WAGENER, A. L. R.; LIMA VERDE, A. M.; SCOFIELD, A. L.; PINHEIRO, F. M.; RODRIGUES, E. 2005. Imposex and surface sediment speciation: A combined approach to evaluate organotin contamination in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Marine Environmental Research*, 59: 435–452.

FRANKE, R. 1982. Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods, *Mathematics of Computations*, v. 33, n. 157, p. 181-200.

GAO, X., CHEN, S., XIE, X., LONG, A., MA, F. 2007. Non-aromatic hydrocarbons in surface sediments near the pearl river estuary in the south china. *sea environmental pollution* 148, p.40-47.

GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; VALENTIN, J. L.; ANDRÉ, D. L.; JACOB, S. A. 1992. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brasil): comparison of biomass and primary production responses. *Journal of Plankton Research*, 14(2): 289-306.

HARTREE, E.F., 1972. Determination of proteins: a modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Analytical Biochemistry*, 48: 422–427.

HOPPE, H.G.; ULLRICH, S. 1999. Profiles of ectoenzymes in the Indian Ocean: phenomena of phosphatase activity in the mesopelagic zone. *Aquat Microb Ecol* 19:139–148.

HOPPE, H.G.; ARNOSTI, C.; HERNDL, G.J. 2002. In *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology, and Applications*. Burns, R.G., and Dick, R.P. (eds). New York, USA: Marcel Dekker, pp. 73–108.

HOURI-DAVIGNON, C.; RELEXANS, J.C. 1989. Measurement of actual electron transport system (ETS). Activity in marine sediments by incubation with INT. *Environmental Technology Letters*, 10: 91-100.

KEPNER, JR.; PRATT, J.R. 1994. Use fluorochromes for direct enumerations of total bacteria in environmental samples: past and present. *Microbiology*, Ver, 58: 603-615.

KILLOPS, S.; KILLOPS, V. 1993. *An introduction to organic geochemistry*. Blackwell Publishing, 2 edition, 408p.

MAHIQUES, M.M., MISHIMA Y., RODRIGUES, M. 1999. Characteristics of the sedimentary organic matter on the inner and middle continental shelf between Guanabara Bay and São Francisco do Sul, south-eastern Brazilian margin. *Cont. Shelf Res.*, 19, pp. 775–798.

MAHIQUES, M.M., BÍCEGO, M.C., SILVEIRA, I.C.A., SOUSA, S.H.M.; LOURENÇO, R.A.; FUKUMOTO, M.M. 2005. Modern sedimentation in the Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazilian shelf. *An. Acad. Bras. Ciênc.* vol.77 no.3 Rio de Janeiro.

MARSH, J.B; WENSTEIN, D. B., 1966. A simple charring method for determination of lipids. *Journal of Lipid Research*, 7: 574–576.

MARTIN, J. H.; KNAUER, G. A.; KARL, D. M.; BROENKOW, W. W. 1987. Carbon cycling in the Northeast Pacific. *Deep-Sea Research*, 34(2A): 267–285.

MCNEIL, M. B. & LITTLE, B. J. 1992. Corrosion mechanisms for copper and silver objects in near-surface environments. *Journal American Institute Conservation* 31:355-366.

MENDONÇA FILHO, J. G. ; MENEZES, T. R. ; IEMMA, M. B. ; OLIVEIRA, E. A. 2003. Caracterização Organocomposicional dos Sedimentos de Fundo da Baía de Guanabara - RJ.. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas, Recife.

MORSE, J.W., EMEIS, K.C. 1990. Controls on C/S ratios in hemipelagic upwelling sediments. *American Journal of Science*, vol. 290, p.1117-1135.

MURPHY, T. P.; LAWSON, A; KUMAGAI, M.; BABIN, J. 1999. Review of emerging issues in sediment treatment. *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 2: 419 – 434.

NELSON, D.L., LEHNINGER, A.L.; COX, M.M. 2009. *Lehninger Principles of Biochemistry*. Fourth edition, Sarvier, 1202p.

PAEZ-OSUNA, F.; BOJÓRQUEZ-LEYVA, H. & GREENRUIZ, C. 1998. Total carbohydrates: organic Total carbohydrates: organic carbon in lagoon sediments as an indicator of organic effluents from agriculture and sugarcane industry. *Environmental Pollution*, 102:321-326.

PARRISH, J. T.; CURTIS, R. L. 1982. Circulation upwelling, and organic-rich rocks atmospheric in the Mesozoic and Cenozoic eras. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 40: 31-66.

PELCZAR, M.J.; CHAN, E.C.S.; KRICG, N. R. 1993. *Microbiology, concepts and applications*. McGraw-Hill Companies, 6th edition, 483p.

PEREIRA, G.C; COUTINHO, R; EBECKEN, N.F.F. 2008. Data mining for environmental analysis and diagnostic: a case study of upwelling ecosystem of arraial do cabo. *Brazilian journal of oceanography*, 56(1):1-12.

PEREIRA, R.C; SOARES-GOMES, A. 2009. *Biologia Marinha*, Universidade Federal Fluminense, Departamento de biologia Marinha. cap. 1, p.27-31.

PHILANDER, S.G.H. 1983. El Niño Southern Oscillation phenomena. *Nature*, 302, p.295-301.

PUSCEDDU, A.; SARA, G.; ARMENI, M.; FABIANO, M.; MAZZOLA, A., 1999. Seasonal and spatial Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi-enclosed marine system (W Mediterranean Sea). *Hydrobiologia*, 397:59-70.

PUSCEDDU, A.; DELL'ANNO, A.; FABIANO, M.; DANOVARO, R. 2004. Quantity and biochemical composition of organic matter in marine sediments. *Biologia Marina Mediterranea*, 11: 39-53.

PUSCEDDU, A., BIANCHELLI, S., GAMBI, C., DANOVARO, R. 2011. Assessment of benthic trophic status of marine coastal ecosystems: Significance of meiofaunal rare taxa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 93, 420-430.

RATH, J.; WU, K.Y.; HERNDL, G.J.; DELONG, E.F. 1998 High phylogenetic diversity in a marine-snow-associated bacterial assemblage. *Aquatic Microbial Ecology* 14: (3) 261-269.

RÉ, P.M.A.B. 2000. *Biologia Marinha*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. p. 10-11.

RELEXANS, J.C.; DEMING, J.; DINET, A.; GAILLARD, J.F.; SIBUET, M. 1996. Sedimentary organic matter and micro-meiofauna with relation to the trophic conditions in the tropical northeast Atlantic. *Deep Sea Research, Part I* 43:1343–1368.

RICE, D.L. 1982. The detritus nitrogen problem: new observations and perspectives from organic geochemistry. *Marine Ecology Progress Series*, 9:153–162.

RODRIGUES, R.F. 1973. Upwelling at Cabo Frio (Brazil). *Dissertação de Mestrado*, Naval Postgraduate School Monterey, California, 89p.

SILVA, P.M.C. 1973. A ressurgência em Cabo Frio (I). *Publ. Instituto de Pesquisas da Marinha*. 56 p.

SILVA, G.L.; DOURADO, M.S.; CANDELLA, R.N. 2006. Estudo preliminar da climatologia da ressurgência na região de arraial do cabo, RJ. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). *Anais do XI ENAPET*.

SILVA, F.S.; PEREIRA, D.C.; NUÑEZ, L.S.; KREPSK, N.; FONTANA, L.F.; BAPTISTA NETO, J.A.; CRAPEZ, M.A.C. 2008. Bacteriological study of the superficial sediments of Guanabara bay, RJ, Brazil. *Brazilian journal of oceanography*, 56(1):13-22.

SANTOS, E.S., INNECCO, B.R., CHAGAS, R.B.A., SILVA, T.F., CRAPEZ, M.C., SILVA, F.S., MENDONÇA-FILHO, J.G. 2008. Comparação das condições redutoras dos sedimentos superficiais da Baía de Guanabara – RJ (Brasil) nos anos de 2005 e 2008. X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, XVI Semana de Geoquímica.

SHANKS, A.L.; WALTERS, K. 1997. Holoplankton, meroplankton, and meiofauna associated with marine snow. *Mar. Eco.-Prog. Ser.* 156: 75-86.

SHERR, E., SHERR, B., 1988. Role of microbes in pelagic food webs: A revised concept. *Limnology and Oceanography*, 33: 1225-1227.

SPOKES, L. 2003. *Environmental Sciences*, University of East Anglia, Norwich - U.K. Environmental Science Published for Everybody Round the Earth - Educational Network on

Climate.(http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1__Oceanos_e_clima/_Como_os_oceanos_absorvem_o_di_xido_de_carbono_2oc.html). Acessado em 15.nov.2011.

STUBBERFIELD, L. C. F; SHAW, P. J. A. 1990. A comparison of tetrazolium reduction and FDA hidrolisis with other measures of microbial activity. *Journal Microbiological Methods* , 12: 151-162.

THAMDRUP, B.; FOSSING, H.; JORGENSEN, B.B. 1994. Manganese, iron, and sulfur cycling in a coastal marine sediment, Aarhus Bay, Denmark. *Geochim Cosmochim Acta* 58: 5115–5129.

THE UNIVERSITY OF TEXAS AT BROWNSVILLE AND TEXAS SOUTHMOST COLLEGE, 1993. (<http://blue.utb.edu/paullgj/geog3333/lectures/oceancurrents-1.gif>). Acessado em 23.fev.2012.

TISSOT, B. P. & WELTE, D. H. 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*, Second edition, Springer-Verlag, Berlin, 699 p.

TREVORS, J. 1984. Effect of substrate concentration, inorganic nitrogen, O₂ concentration, temperature and pH on dehydrogenase activity in soil. *Water Research*, v. 77, p. 285-293.

TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K.; PIERRE, C.; TASAYACO-ORTEGA, L. 1999. Origin and Evolution of the Quaternary Coastal Plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS, B.; BIDONE, E. D.; ABRÃO, J. J. (Eds). *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems*, Série Geoquímica Ambiental, Rio de Janeiro, Brazil, v. 6, p. 25-46.

TYSON R.V. 1995. (ed.) *Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies*. Chapman, Hall, Londres, p.615.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA), 2002. *Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments*. Ecological Risk Assessment Support Center, NCEA-C-1282 Las Vegas: Office of Research and Development.

VALENTIN, J.L. & KEMPF, M. 1977. Some characteristics of the Cabo Frio upwelling (Brazil). *Coastal Upwelling Ecosystem Analysis*, 6(2): 18-21.

VALENTIN, J. L., 1984. Analyse des paramètres hydrobiologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brésil). *Marine Biology*, 82, 259-276.

VALENTIN, J. L.; ANDRÉ, D. L.; JACOB, S.A. 1987. Hydrology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two-dimensional structure and variability during a wind cycle. *Continent. Shelf Res.*, 7(1):77-88.

VALENTIN, J.L. 1989. A dinâmica do plâncton na ressurgência de Cabo Frio - RJ. In Memórias do III Encontro Brasileiro de Plâncton. F.P. Brandini (ed), UFPR, Caiobá, PR, p. 26-35.

VALENTIN, J. L. 1994. A ressurgência fonte de vida dos oceanos. *Ciência Hoje*, 18(102): 19-25.

VER, L.M.B.; MACKENZIE, F.T.; LERMAN, A. 1999. Carbon cycle in the coastal zone: effects of global perturbations and change in the past three centuries. *Chemical Geology* 159, p.283–304.

VEZZULLI, L.; FABIANO, M. 2006. Sediment biochemical and microbial variables for the evaluation of trophic status along the Italian and Albanian continental shelves. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*. 86:27-37.

VILELA, C. G; SANJINÉS, A. E. S; GHISELLI, R. O JR; FILHO, J. M; BAPTISTA NETO, J. A. & BARBOSA C. F. 2003. Search for Bioindicators of Pollution in the Guanabara Bay: Integrations of Ecologic Patterns. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v.26, p.25-35.

WAKEHAM, S.G.; HEDGES, J.I.; LEE, C.; PETERSON, M.L.; HERNES, P.J. 1997. Compositions and transport of lipid biomarkers through the water column and surficial sediments of the equatorial Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. V.44, Issues 9–10, P.2131–2162.

WEISS, M., ABELE, U., WECKESSER, J., WELTE, W., SCHILTZ, E., AND SCHULZ, G.E. 1991. Molecular architecture and electrostatic properties of a bacterial porin. *Science* 254: 1627–1630.

ANEXO A: Tabelas

**RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS SEDIMENTOS
SUPERFICIAIS E *KULLEMBERGS***

Tabela 1: Resultados das análises nas amostras superficiais dos Box Cores.

Estações	Lat	Long	COT	Enxofre	C:S	CHO	PTN	LIP	Carboidratos	Proteínas	Lipídios	BPC	CHO:COT	PTN:CHO	Nº Cel	COB	ASTE	EST
			(%)	(%)		(mg. g ⁻¹)	(mg. g ⁻¹)	(mg. g ⁻¹)	(mg. g ⁻¹)	(mg. g ⁻¹)	(mg. g ⁻¹)		(mg. g ⁻¹)	(mg. g ⁻¹)	(mg. g ⁻¹)	(cel.g ⁻¹)	(µgC.cm ⁻³)	(µL O2 h ⁻¹ .g ⁻¹)
# 1 BC	-23,241	24,244	0,63	0,06	10,40	24,80	5,61	17,36	9,92	2,75	13,02	25,69	39,37	0,23	1,11E+10	1,33E-04	0,51	0,01
# 2 BC	-23,193	24,293	0,77	0,09	8,84	14,05	7,19	16,20	5,62	3,52	12,15	21,29	18,25	0,51	2,54E+08	3,04E-06	0,58	0,16
# 4 BC	-23,135	24,241	1,09	0,24	4,61	28,80	8,55	20,25	11,52	4,19	15,19	30,90	26,42	0,30	3,47E+08	4,16E-06	0,39	0,00
# 8 BC	-23,115	24,193	1,47	0,13	11,24	41,47	10,47	26,14	16,59	5,13	19,61	41,32	28,21	0,25	5,12E+09	2,05E-05	0,47	0,08
# 9 BC	-23,12	24,155	1,44	0,17	8,46	34,30	11,56	22,53	13,72	5,66	16,90	36,28	23,82	0,34	3,70E+08	4,44E-06	0,44	0,23
# 10 BC	-23,074	24,165	1,29	0,12	11,12	24,47	10,50	27,98	9,79	5,15	20,99	35,92	18,97	0,43	1,17E+10	1,40E-04	0,61	0,44
# 11 BC	-23,092	24,155	1,10	0,16	6,77	32,38	10,09	21,70	12,95	4,94	16,28	34,18	29,44	0,31	3,76E+08	4,51E-06	0,63	0,06
# 12 BC	-23,095	24,062	1,21	0,15	7,96	30,47	10,43	18,16	12,19	5,11	13,62	30,92	25,15	0,34	3,23E+08	3,87E-06	0,62	0,21
# 13 BC	-23,035	24,101	1,02	0,08	12,12	23,13	7,49	21,05	9,25	3,67	15,79	28,71	22,68	0,32	1,29E+10	1,54E-04	0,57	0,59
# 14 BC	-23,064	24,016	1,20	0,18	6,67	23,13	12,20	21,05	9,25	5,98	15,79	31,02	19,28	0,53	2,74E+08	3,29E-06	0,64	0,87
# 15 BC	-23,033	24,073	0,96	0,17	5,53	14,30	10,77	22,89	5,72	5,28	17,17	28,17	14,90	0,75	3,24E+08	3,88E-06	0,51	0,00
# 16 BC	-23,015	24,185	1,36	0,15	9,09	25,63	13,40	25,87	10,25	6,57	19,41	36,23	18,88	0,52	1,21E+10	1,46E-04	0,64	0,23
	Mínimo		0,63	0,06	4,61	14,05	5,61	16,20	5,62	2,75	12,15	21,29	14,90	0,23	2,54E+08	3,04E-06	0,39	0,00
	Máximo		1,47	0,24	12,12	41,47	13,40	27,98	16,59	6,57	20,99	41,32	39,37	0,75	1,29E+10	1,54E-04	0,64	0,87
	Média		1,13	0,14	8,57	26,41	9,85	21,77	10,56	4,83	16,33	31,72	23,78	0,40	4,60E+09	5,17E-05	0,55	0,24
	Desvio Padrão		2,56E-01	4,91E-02	2,38E+00	7,83E+00	2,24E+00	3,61E+00	3,13E+00	1,10E+00	2,71E+00	5,44E+00	6,62E+00	1,52E-01	5,61E+09	6,79E-05	8,54E-02	2,69E-01

Tabela 2: Resultados das análises nas amostras do Kulleberg CF10-01C.

Amostras	Prof. (m)	COT	Enxofre	C:S	CHO	PTN	LIP	CHO - bio	PTN - bio	LIP - bio	BPC	CHO:COT	PTN:CHO	Nº Cel	COB	ASTE	EST
		%			(mg. g ⁻¹)			(mgC. g ⁻¹)				(cel.g ⁻¹)	(µgC.cm ⁻³)	(µL O2 h ⁻¹ . g ⁻¹)	(µg Fluoresceína h ⁻¹ . g ⁻¹)		
K1 IV 1	0,05	0,69	0,10	6,96	75,25	6,70	9,05	30,10	3,28	6,79	40,17	1,09	0,09	7,24E+09	8,69E-05		
K1 IV 2	0,15	0,75	0,25	3,05	75,94	7,12	12,08	30,38	3,49	9,06	42,92	1,01	0,09	1,42E+10	1,70E-04		
K1 IV 3	0,25	0,83	0,30	2,74	70,38	6,82	12,69	28,15	3,34	9,51	41,00	0,85	0,10	1,55E+10	1,86E-04		
K1 IV 4	0,35	0,67	0,29	2,34	62,49	6,51	12,73	25,00	3,19	9,55	37,74	0,93	0,10	1,53E+10	1,84E-04		
K1 IV 5	0,45	0,69	0,30	2,31	63,88	6,55	13,63	25,55	3,21	10,22	38,99	0,93	0,10	1,55E+10	1,86E-04		
K1 IV 6	0,55	0,76	0,36	2,12	72,23	7,83	10,26	28,89	3,84	7,70	40,43	0,95	0,11	1,41E+10	1,69E-04		
K1 IV 7	0,65	0,87	0,45	1,94	68,52	7,94	13,87	27,41	3,89	10,41	41,71	0,79	0,12	1,25E+10	1,50E-04	0,46	0,38
K1 III 8	0,75	0,80	0,41	1,97	73,62	8,62	12,35	29,45	4,22	9,26	42,93	0,92	0,12	1,07E+10	1,29E-04		
K1 III 9	0,85	0,74	0,39	1,89	68,29	7,04	10,89	27,32	3,45	8,17	38,94	0,93	0,10	9,14E+09	1,10E-04		
K1 III 10	0,95	0,70	0,41	1,71	59,71	6,55	9,34	23,88	3,21	7,01	34,10	0,85	0,11	7,90E+09	9,49E-05		
K1 III 11	1,05	0,64	0,32	2,00	61,10	3,99	9,92	24,44	1,96	7,44	33,84	0,95	0,07	2,86E+10	3,44E-04		
K1 III 12	1,15	0,56	0,30	1,85	56,23	6,48	14,16	22,49	3,17	10,62	36,29	1,00	0,12	1,89E+10	2,26E-04		
K1 III 13	1,25	0,60	0,35	1,70	53,22	7,23	15,01	21,29	3,54	11,26	36,09	0,89	0,14	3,18E+10	3,82E-04		
K1 III 14	1,35	0,54	0,34	1,59	50,43	6,21	12,30	20,17	3,04	9,22	32,44	0,93	0,12	2,86E+10	3,44E-04		
K1 III 15	1,45	0,57	0,35	1,65	50,67	6,89	11,57	20,27	3,38	8,68	32,32	0,88	0,14	9,94E+09	1,19E-04		
K1 III 16	1,55	0,50	0,31	1,63	47,42	6,18	7,11	18,97	3,03	5,33	27,33	0,95	0,13	1,25E+10	1,50E-04		
K1 III 17	1,65	0,53	0,31	1,70	49,04	5,76	12,71	19,62	2,82	9,53	31,97	0,92	0,12	1,63E+10	1,96E-04	0,43	0,20
K1 II 18	1,75	0,58	0,31	1,90	54,84	6,55	7,90	21,94	3,21	5,92	31,07	0,95	0,12	9,52E+09	1,14E-04		
K1 II 19	1,85	0,58	0,32	1,81	48,81	6,14	9,66	19,52	3,01	7,24	29,77	0,84	0,13	1,03E+10	1,23E-04		
K1 II 20	1,95	0,51	0,31	1,63	46,26	3,65	8,44	18,50	1,79	6,33	26,63	0,91	0,08	1,01E+10	1,22E-04		
K1 II 21	2,05	0,45	0,33	1,37	40,87	28,92	9,78	16,35	14,17	7,33	37,85	0,91	0,71	1,14E+10	1,36E-04		
K1 II 22	2,15	0,44	0,33	1,33	36,23	29,22	9,68	14,49	14,32	7,26	36,07	0,82	0,81	9,31E+09	1,12E-04		
K1 II 23	2,25	0,42	0,29	1,45	33,10	25,76	9,46	13,24	12,62	7,10	32,96	0,79	0,78	1,03E+10	1,24E-04		
K1 II 24	2,35	0,36	0,30	1,21	33,22	25,76	9,53	13,29	12,62	7,15	33,06	0,92	0,78	1,11E+10	1,33E-04		
K1 II 25	2,45	0,40	0,32	1,27	36,23	14,92	8,81	14,49	7,31	6,61	28,41	0,90	0,41	1,12E+10	1,34E-04		
K1 II 26	2,55	0,36	0,28	1,31	44,12	8,10	5,66	17,65	3,97	4,24	25,85	1,22	0,18	9,09E+09	1,09E-04		
K1 II 27	2,65	0,38	0,28	1,38	38,55	5,23	8,69	15,42	2,57	6,51	24,50	1,01	0,14	1,41E+10	1,69E-04	0,42	0,30
K1 I 28	2,75	0,46	0,34	1,35	36,70	8,75	16,25	14,68	4,29	12,19	31,15	0,80	0,24	9,22E+09	1,11E-04		
K1 I 29	2,85	0,41	0,30	1,37	32,75	14,47	17,20	13,10	7,09	12,90	33,09	0,80	0,44	1,33E+10	1,59E-04		
K1 I 30	2,95	0,42	0,31	1,35	36,81	14,02	18,14	14,72	6,87	13,61	35,20	0,88	0,38	1,26E+10	1,51E-04		
K1 I 31	3,05	0,42	0,31	1,34	30,67	14,47	24,40	12,27	7,09	18,30	37,65	0,74	0,47	1,47E+10	1,76E-04		
K1 I 32	3,15	0,40	0,30	1,33	31,13	13,26	22,12	12,45	6,50	16,59	35,54	0,78	0,43	1,35E+10	1,62E-04		
K1 I 33	3,25	0,42	0,31	1,33	34,61	20,19	20,73	13,84	9,89	15,55	39,29	0,83	0,58	1,15E+10	1,38E-04		
K1 I 34	3,35	0,43	0,33	1,31	36,12	15,52	23,86	14,45	7,61	17,90	39,95	0,83	0,43	1,24E+10	1,49E-04		
K1 I 35	3,45	0,43	0,30	1,43	34,38	15,67	20,32	13,75	7,68	15,24	36,67	0,80	0,46	9,29E+09	1,12E-04		
K1 I 36	3,55	0,48	0,35	1,37	36,46	16,12	17,22	14,59	7,90	12,91	35,40	0,76	0,44	1,16E+10	1,39E-04		
K1 I 37	3,65	0,43	0,32	1,34	34,14	17,03	18,07	13,66	8,34	13,55	35,55	0,79	0,50	5,56E+09	6,67E-05	0,45	0,00
Mínimo		0,36	0,10	1,21	30,67	3,65	5,66	12,27	1,79	4,24	24,50	0,74	0,07	5,56E+09	6,67E-05	0,42	0,00
Máximo		0,87	0,45	6,96	75,94	29,22	24,40	30,38	14,32	18,30	42,93	1,22	0,81	3,18E+10	3,82E-04	0,46	0,38
Média		0,55	0,32	1,82	49,04	11,30	13,12	19,62	5,54	9,84	35,00	0,89	0,28	1,32E+10	1,59E-04	0,44	0,22
Desvio Padrão		1,46E-01	5,40E-02	9,65E-01	1,47E+01	7,07E+00	4,81E+00	5,87E+00	3,46E+00	3,60E+00	4,80E+00	9,68E-02	2,30E-01	5,68E+09	6,82E-05	1,96E-02	1,63E-01

Tabela 3: Resultados das análises nas amostras do Kulleberg CF10-15C.

Amostras	Prof. (m)	COT	Enxofre	C:S	CHO	PTN	LIP	CHO - bio	PTN - bio	LIP - bio	BPC	CHO:COT	PTN:CHO	Nº Cel	COB	ASTE	EST
		%			(mg.g ⁻¹)			(mgC.g ⁻¹)						(cel.g ⁻¹)		(µgC.cm ⁻³)	(µL O2 h ⁻¹ .g ⁻¹)
K15 V 1	0,05	1,04	0,13	7,97	15,51	5,08	33,85	6,20	2,49	25,39	34,08	0,15	0,33	1,39E+10	1,67E-04		
K15 V 2	0,15	0,78	0,25	3,17	11,74	4,79	28,30	4,70	2,35	21,22	28,27	0,15	0,41	7,54E+09	9,05E-05		
K15 V 3	0,25	0,76	0,29	2,61	11,80	4,03	36,61	4,72	1,97	27,46	34,15	0,16	0,34	9,95E+09	1,19E-04		
K15 V 4	0,35	0,70	0,32	2,21	6,17	4,09	25,10	2,47	2,01	18,82	23,30	0,09	0,66	8,91E+09	1,07E-04	0,28	0,18
K15 V 5	0,45	0,72	0,29	2,50	9,36	4,11	30,26	3,74	2,02	22,70	28,46	0,13	0,44	8,88E+09	1,07E-04		
K15 IV 6	0,55	0,64	0,27	2,33	7,39	3,33	29,15	2,96	1,63	21,86	26,45	0,12	0,45	8,82E+09	1,06E-04		
K15 IV 7	0,65	0,60	0,28	2,11	8,49	3,41	25,39	3,40	1,67	19,04	24,11	0,14	0,40	9,42E+09	1,13E-04		
K15 IV 8	0,75	0,62	0,31	1,99	11,10	3,87	25,95	4,44	1,90	19,46	25,80	0,18	0,35	8,23E+09	9,88E-05		
K15 IV 9	0,85	0,63	0,31	2,06	9,89	3,42	25,85	3,96	1,68	19,39	25,02	0,16	0,35	7,45E+09	8,94E-05		
K15 IV 10	0,95	0,69	0,33	2,08	14,00	3,64	22,07	5,60	1,78	16,55	23,93	0,20	0,26	6,98E+09	8,38E-05		
K15 IV 11	1,05	0,65	0,35	1,85	15,16	3,41	21,87	6,06	1,67	16,41	24,14	0,23	0,23	7,66E+09	9,19E-05		
K15 IV 12	1,15	0,70	0,38	1,83	12,09	3,76	25,73	4,83	1,84	19,30	25,97	0,17	0,31	7,80E+09	9,36E-05		
K15 IV 13	1,25	0,71	0,37	1,94	12,43	3,68	21,70	4,97	1,80	16,28	23,05	0,18	0,30	9,07E+09	1,09E-04		
K15 IV 14	1,35	0,65	0,34	1,93	9,19	3,33	24,93	3,68	1,63	18,70	24,00	0,14	0,36	6,65E+09	7,98E-05	0,34	0,12
K15 III 15	1,45	0,61	0,30	2,02	9,13	1,98	27,57	3,65	0,97	20,68	25,30	0,15	0,22	8,88E+09	1,07E-04		
K15 III 16	1,55	0,62	0,32	1,95	11,33	2,19	27,64	4,53	1,07	20,73	26,34	0,18	0,19	8,56E+09	1,03E-04		
K15 III 17	1,65	0,66	0,34	1,95	11,22	2,07	19,28	4,49	1,01	14,46	19,96	0,17	0,18	8,30E+09	9,96E-05		
K15 III 18	1,75	0,63	0,34	1,87	12,55	2,00	17,95	5,02	0,98	13,46	19,46	0,20	0,16	1,29E+10	1,55E-04		
K15 III 19	1,85	0,55	0,30	1,86	50,00	1,84	17,07	20,00	0,90	12,81	33,71	0,90	0,04	1,44E+10	1,72E-04		
K15 III 20	1,95	0,56	0,30	1,89	53,07	2,00	19,43	21,23	0,98	14,57	36,78	0,95	0,04	1,11E+10	1,33E-04		
K15 III 21	2,05	0,61	0,32	1,94	71,39	2,09	22,72	28,56	1,02	17,04	46,62	1,17	0,03	8,65E+09	1,04E-04		
K15 III 22	2,15	0,65	0,33	1,96	46,12	2,06	24,69	18,45	1,01	18,51	37,97	0,71	0,04	8,55E+09	1,03E-04		
K15 III 23	2,25	0,60	0,30	2,00	53,88	2,11	21,44	21,55	1,03	16,08	38,67	0,90	0,04	1,09E+10	1,30E-04		
K15 III 24	2,35	0,62	0,29	2,15	56,20	2,16	25,53	22,48	1,06	19,15	42,69	0,90	0,04	1,25E+10	1,50E-04	0,19	0,19
K15 II 25	2,45	0,68	0,29	2,36	45,42	4,80	20,71	18,17	2,35	15,53	36,05	0,67	0,11	8,48E+09	1,02E-04		
K15 II 26	2,55	0,60	0,29	2,10	51,51	3,60	28,08	20,60	1,76	21,06	43,43	0,86	0,07	1,09E+10	1,30E-04		
K15 II 27	2,65	0,60	0,28	2,11	46,52	3,15	30,02	18,61	1,54	22,51	42,67	0,78	0,07	1,09E+10	1,30E-04		
K15 II 28	2,75	0,59	0,28	2,11	55,04	4,07	28,20	22,02	2,00	21,15	45,16	0,93	0,07	9,24E+09	1,11E-04		
K15 II 29	2,85	0,57	0,27	2,07	56,67	4,04	28,90	22,67	1,98	21,68	46,33	1,00	0,07	8,91E+09	1,07E-04		
K15 II 30	2,95	0,53	0,26	2,07	43,33	3,80	26,89	17,33	1,86	20,17	39,37	0,81	0,09	8,84E+09	1,06E-04		
K15 II 31	3,05	0,55	0,27	2,07	35,22	3,72	24,01	14,09	1,82	18,01	33,92	0,63	0,11	9,40E+09	1,13E-04		
K15 II 32	3,15	0,57	0,27	2,10	36,43	3,91	25,22	14,57	1,92	18,91	35,40	0,64	0,11	1,00E+10	1,20E-04		
K15 III 33	3,25	0,59	0,26	2,30	31,74	3,93	31,43	12,70	1,92	23,57	38,19	0,54	0,12	9,83E+09	1,18E-04		
K15 I 34	3,35	0,60	0,27	2,25	34,46	4,02	23,06	13,79	1,97	17,30	33,05	0,57	0,12	1,17E+10	1,40E-04	0,30	0,11
K15 I 35	3,45	0,54	0,25	2,13	38,58	3,01	22,48	15,43	1,48	16,86	33,77	0,72	0,08	1,02E+10	1,23E-04		
K15 I 36	3,55	0,54	0,26	2,10	37,42	3,04	22,70	14,97	1,49	17,02	33,48	0,69	0,08	8,11E+09	9,74E-05		
K15 I 37	3,65	0,56	0,26	2,14	32,72	3,02	19,69	13,09	1,48	14,77	29,34	0,59	0,09	8,63E+09	1,04E-04		
K15 I 38	3,75	0,53	0,26	2,07	36,55	2,80	16,15	14,62	1,37	12,11	28,11	0,69	0,08	1,20E+10	1,44E-04		
K15 I 39	3,85	0,52	0,25	2,06	39,22	2,86	12,54	15,69	1,40	9,41	26,49	0,75	0,07	1,19E+10	1,43E-04		
K15 I 40	3,95	0,52	0,26	2,05	47,80	3,40	15,09	19,12	1,67	11,31	32,10	0,91	0,07	1,21E+10	1,45E-04		
K15 I 41	4,05	0,54	0,26	2,07	36,14	3,21	13,66	14,46	1,57	10,24	26,27	0,67	0,09	1,31E+10	1,57E-04		
K15 I 42	4,15	0,54	0,27	1,97	38,70	3,33	13,12	15,48	1,63	9,84	26,95	0,72	0,09	1,23E+10	1,48E-04		
K15 I 43	4,25	0,54	0,25	2,16	34,81	3,22	18,80	13,92	1,58	14,10	29,60	0,64	0,09	1,08E+10	1,29E-04		
K15 I 44	4,35	0,52	0,24	2,17	36,03	3,26	23,16	14,41	1,60	17,37	33,38	0,69	0,09	1,19E+10	1,42E-04	0,30	0,24
Mínimo		0,52	0,13	1,83	6,17	1,84	12,54	2,47	0,90	9,41	19,46	0,09	0,03	6,65E+09	7,98E-05	0,19	0,11
Máximo		1,04	0,38	7,97	71,39	5,08	36,61	28,56	2,49	27,46	46,62	1,17	0,66	1,44E+10	1,72E-04	0,34	0,24
Média		0,62	0,29	2,24	30,54	3,29	23,73	12,21	1,61	17,80	31,62	0,52	0,18	9,89E+09	1,19E-04	0,28	0,17
Desvio Padrão		9,25E-02	4,17E-02	9,12E-01	1,81E+01	8,31E-01	5,39E+00	7,24E+00	4,07E-01	4,04E+00	7,28E+00	3,25E-01	1,49E-01	1,92E+09	2,30E-05	5,30E-02	5,45E-02