

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA  
PROJETO FINAL II

BRUNO BORGUIGNON MOTA

INFLUÊNCIA DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) NAS  
PROPRIEDADES ACÚSTICAS DOS SEDIMENTOS MARINHOS  
SUPERFICIAIS.

NITERÓI  
2012

BRUNO BORGUIGNON MOTA

INFLUÊNCIA DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) NAS  
PROPRIEDADES ACÚSTICAS DOS SEDIMENTOS MARINHOS  
SUPERFICIAIS.

Trabalho de conclusão de curso submetido ao programa de graduação em geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em geofísica.

Orientador:  
ARTHUR AYRES NETO

NITERÓI  
2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**BRUNO BORGUIGNON MOTA**

**Banca Examinadora:**

---

**Arthur Ayres Neto, D.Sc.**

---

**José Antônio Baptista Neto, D.Sc.**

---

**Cléverson Guizan Silva, D.Sc.**

**NITERÓI**  
**2012**

## Agradecimentos

Agradeço a Deus pelas sucessivas forças recebidas durante o curso.

Agradeço à SBGF pelo apoio financeiro dado para a realização deste trabalho.

Também agradeço aos meus coroaos e a minha família como um todo. Ainda que não estando presente todo o tempo durante esta graduação, eles sempre serão pessoas especiais na minha vida.

Não sei se é possível agradecer em nível tão pessoal a uma instituição, mas fica aqui meu muito obrigado à UFF por ter me abrigado durante longos e curtos (dependendo do olhar) 10 anos. Nesta instituição pude me tornar professor de história e geofísico, feito de ousadia que se me perguntado uma década atrás, talvez eu mesmo não teria certeza da possibilidade.

Esta graduação desde o seu princípio foi marcada por dificuldades que não são em nada diferente das ralações típicas dos inadequados sociais provenientes do interior do Brasil. Me manter trabalhando e estudando em tempo integral foi uma tarefa muito desgastante, que sem dúvida foi feita à base de muitas parcerias, cara-de-pau e força de vontade. Até porque em termos de inadequação, até o momento tive a péssima mania de ser bom.

Mas nem tudo foi tão tenso, nesta graduação tive momentos muito felizes, que inclusive superam os momentos difíceis, fiz diversas amizades, que espero serem cada vez mais intensas.

Sem dúvida o começo dessa empreitada se deve a uma pessoa muita querida, minha grande amiga Marisa Makler. Esta mulher super especial me apresentou a essa tal de geofísica. Com certeza ela foi determinante para que eu decidisse encarar esse desafio, sendo sempre uma grande conselheira e apoiadora. Aliás, *muchas gracias* a toda família Makler, que tanto me ajudou durante a graduação, sobretudo a Sérgio e Susana, meus segundos pais. Tenho a impressão que a minha formatura também é deles.

Agradeço também a todos os professores do Lagemar, que me receberam com muito carinho e profissionalismo, em especial aos professores Cetale, Arthur, Eliane, Zé, Alex, Rogério e Cleverson.

Um agradecimento especial à minha turma de coração (2007), Jojo, Dani, Carina, Dedê, Caoana, Calango de Guriri, Birinho da Grota, Téo Careca,

Jorginho Canhaca P4 (fechação pura na monografia), Léo Farpado, Johnny Weissmann e Tico. Estes quatro últimos e a meu primo e grande companheiro JB (parente por sangue e opção), um muito obrigado especial pela ajuda na reta final da faculdade. Ajuda que, aliás, é típica somente de irmãos de laço muito estreito.

Agradeço aos meus camaradas João Caninha, Fafa e Salsa, por todas as quebrações de galho e estudos que vararam madrugadas. A meu nobre e "escroto" amigo Yan. Aos meus amigos Camilo *el Pibe* e Mauricio Blanco, por todo afeto e incentivo.

Obrigado aos *chamos* da Geoquasar Luiz Escalona, Miguel, Daniel, David e Alejandro, venezuelanos onda boa demais. Às parceiras Thay e Natasha dos tempos de Stratageo.

Muito obrigado à Dona Tíndia, que além de mandar quilos de carne assada pro seu neto, vem contribuindo com meu aprendizado desde a infância, juntamente com Seu Belo *in memoriam*. Em seu quintal tive meus primeiros questionamentos com rochas e sedimentos, que na época eram apenas pedras e areia.

Um agradecimento enorme à Mariah Portella Vivas, companheira e grande amor, que segurou todas as barras com paciência e carinho extremamente raros. Um beijo enorme no coração.

Enfim a todos que estiveram de alguma forma nesta graduação!

# Sumário

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>8</b>
<b>1-INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2-OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
<b>3-ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1- BACIA DE CAMPOS</b> .....	<b>12</b>
3.2- ALTO DE CABO FRIO.....	13
3.3- LOCALIZAÇÃO DOS TESTEMUNHOS - DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR.....	14
3.4- FIOGRAFIA E SEDIMENTAÇÃO.....	16
<b>4-FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
4.1-CARBONO ORGÂNICO TOTAL - COT.....	18
4.2-VELOCIDADE DE ONDA COMPRESSIONAL - VP.....	20
4.3-DENSIDADE.....	23
4.4-IMPEDÂNCIA ACÚSTICA.....	24
4.6 - DIAGRAMAS DE DISPERSÃO BIDIMENSIONAIS.....	26
4.6.1-Desvio Padrão.....	26
4.6.2- Coeficiente de variação.....	27
4.6.3-Diagramas de dispersão - Coeficiente de correlação.....	27
<b>5-METODOLOGIA</b> .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
5.1- AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	29
5.2- PERFILAGEM (MSCL).....	30
<b>6-RESULTADOS</b> .....	<b>32</b>
6.1-TRATAMENTO DOS DADOS.....	32
6.2-TESTEMUNHO CF 10-01B.....	33
6.3-TESTEMUNHO CF10-04A.....	35
6.4-TESTEMUNHO CF10-09A.....	37
6.5-TESTEMUNHO CF 10-15A.....	39
<b>7- DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>
7.1-TESTEMUNHO CF 10-15A.....	47
<b>9-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>50</b>

# Lista de Figuras

FIGURA 1: BACIA DE CAMPOS. ....	13
FIGURA 2: ALTO DE CABO FRIO.....	14
FIGURA 3: LOCALIZAÇÃO DOS TESTEMUNHOS. ....	14
FIGURA 4: MAPA DE COMPOSIÇÃO DOS SEDIMENTOS CONFORME A CLASSIFICAÇÃO LARSONNEUR.....	16
FIGURA 5: DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR. ....	15
FIGURA 6: ANALISADOR ELEMENTAR (CHN) LECO. ....	20
FIGURA 7: MODELO DE PROPAGAÇÃO DA ONDA PL .....	21
FIGURA 8: GRÁFICOS DE CORRELAÇÃO VP X POROSIDADE E VP X DENSIDADE.. ....	22
FIGURA 9: VP VERSUS DENSIDADE E POROSIDADE -VALORES MÉDIOS.....	22
FIGURA 10: VELOCIDADE DE ONDA COMPRESSIONAL (VP) EM SEDIMENTOS MARINHOS SATURADOS, MEDIDOS EM LABORATÓRIO. ....	23
FIGURA 11: MODELO DE DENSIDADE DOS SEDIMENTOS/ROCHAS PARA A) N CONSTITUINTES E B) MATRIZ E DOIS .....	24
FIGURA 12: DEFINIÇÃO DE POROSIDADE. ....	25
FIGURA 13: VALOR MÉDIO DE POROSIDADE PARA SEDIMENTOS MARINHOS. ....	26
FIGURA 14: MECANISMO DE AQUISIÇÃO - PISTON CORE .....	29
FIGURA 15: PERFILADOR MSCL.....	30
FIGURA 16: SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VP NO MSCL.....	31
FIGURA 17: GRÁFICO DE ÁREA MOSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR DO TESTEMUNHO CF10-01B. ....	33
FIGURA 18: PERFIS DE VP, DENSIDADE, IMPEDÂNCIA ACÚSTICA, POROSIDADE E COT. TESTEMUNHO CF10-01A. ....	34
FIGURA 19: GRÁFICO DE ÁREA MOSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR DO TESTEMUNHO CF10-04A. ....	35
FIGURA 20: PERFIS DE VP, DENSIDADE, IMPEDÂNCIA ACÚSTICA, POROSIDADE E COT. TESTEMUNHO CF10-04A. ....	36
FIGURA 21: GRÁFICO DE ÁREA MOSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR DO TESTEMUNHO CF10-09A. ....	37
FIGURA 22: PERFIS DE VP, DENSIDADE, IMPEDÂNCIA ACÚSTICA, POROSIDADE E COT. TESTEMUNHO CF10-09A. ....	38
FIGURA 23: GRÁFICO DE ÁREA MOSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR DO TESTEMUNHO CF10-15A. ....	39
FIGURA 24: PERFIS DE VP, DENSIDADE, IMPEDÂNCIA ACÚSTICA, POROSIDADE E COT. TESTEMUNHO CF10-15A. ....	40
FIGURA 25: VALORES ESTATÍSTICOS - TESTEMUNHO CF10-01B.....	44
FIGURA 26: GRÁFICOS DE DISPERSÃO DE COT COM DENSIDADE, VP, IMPEDÂNCIA ACÚSTICA, POROSIDADE, ARGILA, SILTE, AREIA E TEOR DE ÁGUA. TESTEMUNHO CF10-01B. ....	44
FIGURA 27: VALORES ESTATÍSTICOS - TESTEMUNHO CF10-04A.....	45
FIGURA 28: GRÁFICOS DE DISPERSÃO DE COT COM DENSIDADE, VP, IMPEDÂNCIA ACÚSTICA, POROSIDADE, ARGILA, SILTE, AREIA E TEOR DE ÁGUA. TESTEMUNHO CF10-04A. ....	45
FIGURA 29: VALORES ESTATÍSTICOS - TESTEMUNHO CF10-09A.....	46
FIGURA 30: GRÁFICOS DE DISPERSÃO DE COT COM DENSIDADE, VP, IMPEDÂNCIA ACÚSTICA, POROSIDADE, ARGILA, SILTE, AREIA E TEOR DE ÁGUA. TESTEMUNHO CF10-09A. ....	46
FIGURA 31: COMPARAÇÃO DOS VALORES DE COVARIÂNCIA COT X VP POR TESTEMUNHO.....	47
FIGURA 32: VALORES ESTATÍSTICOS - TESTEMUNHO CF10-15A.....	48
FIGURA 33: GRÁFICOS DE DISPERSÃO DE COT COM DENSIDADE, VP, IMPEDÂNCIA ACÚSTICA, POROSIDADE, ARGILA, SILTE, AREIA E TEOR DE ÁGUA. TESTEMUNHO CF10-15A. ....	48

## RESUMO

A presença de matéria orgânica nos sedimentos superficiais marinhos pode afetar sistematicamente as respostas acústicas esperadas para os mesmos. Neste sentido a determinação do carbono orgânico total, tem sido utilizada para estimar quantitativamente a fração orgânica nos sedimentos, o que contribui no entendimento de suas várias propriedades físicas. O presente trabalho tem como objetivo principal, verificar a influência da matéria orgânica sobre a velocidade de propagação de ondas P, na densidade e na impedância acústica de sedimentos marinhos superficiais da região de Cabo Frio, RJ. Para tal, foram utilizados testemunhos *piston core* (aproximadamente 4m); perfis Vp e densidade, oriundos do *Multi-Scanning Core Logger* (MSCL); dados granulométricos e por fim a correlação dos parâmetros. Sendo estes dados provenientes do Projeto Ressurgência. O entendimento das propriedades acústicas dos sedimentos do fundo marinho tem um papel fundamental para diversas atividades, que vão desde o mundo acadêmico a indústria do petróleo. Vemos este último ponto amplamente contemplado nas necessidades geotécnicas, que de maneira geral estão associadas à implantação de estruturas basilares ao *downstream*, como plataformas e dutos submarinos.

## 1-Introdução.

As diversas descobertas da indústria de hidrocarbonetos em regiões *offshore* tem tido grande destaque em níveis internacionais nos últimos anos. No Brasil, esta questão econômica vem alavancando grandes investimentos, projetando o país num cenário altamente competitivo como uma possível nova potência do setor petrolífero.

No entanto o desenvolvimento e a manutenção de campos em lâminas d'água cada vez mais profundas exigem conhecimentos avançados aos geocientistas, dado que além deste fator, o fundo oceânico pode apresentar características morfológicas e físicas muito complexas.

Na superfície oceânica, ou mesmo enterrados nesta, grandes estruturas como dutos submarinos e bases de plataformas operam em condições muito delicadas, estando sujeitos a diversas variáveis, tais como: altas pressões; presença de correntes e a erosão do fundo.

Nestas situações é necessário o detalhamento das características geológicas e geotécnicas dos sedimentos locais, com variações em níveis centimétricos ou métricos, dependendo das dimensões da estrutura em questão.

A classificação geoacústica do fundo marinho vem sendo estudada nas últimas décadas por diversos autores, como Hamilton & Bachman (1982), que de uma maneira geral, busca a criação de um arcabouço correlacional entre os parâmetros físicos e geológicos de sedimentos marinhos superficiais. Akal et al. (1984) avaliou a relação entre modelos geoacústicos e propriedades como granulometria, densidade, teor de umidade e índice de vazios. Já em Ayres e Silva (2006), verifica-se a importância de se integrar a geofísica à geotecnia.

O desenvolvimento destes conceitos e técnicas são pontos estratégicos para a construção de modelos geoacústicos, que por sua vez podem estreitar a relação entre propriedades físicas e parâmetros geotécnicos. Para tal é mister o estudo das propriedades acústicas dos sedimentos, tais como a velocidade

de propagação e atenuação da onda P, impedância acústica e coeficiente de reflexão.

Este trabalho visa contribuir com a análise da influência da matéria orgânica nas propriedades acústicas dos sedimentos, a partir da correlação estatística do carbono orgânico total (COT) com diversas propriedades acústicas dos sedimentos como as supracitadas.

## **2-Objetivos.**

Este trabalho, se observado num contexto de síntese, visa contribuir ao entendimento das propriedades acústicas dos sedimentos marinhos superficiais, buscando fornecer mais um tijolo nesta grande construção do campo geocientífico.

A metáfora citada, ligada numa perspectiva mais direta, ao foco do trabalho, ou seja, à análise das influências que a matéria orgânica pode gerar nas propriedades acústicas dos sedimentos superficiais marinhos.

Neste sentido através de estudos estatísticos, de quatro testemunhos localizados na plataforma continental próximo ao alto de Cabo Frio, este trabalho persegue a avaliação e a comparação dos efeitos que o COT pode gerar em propriedades sedimentares, como  $V_p$ , densidade, impedância acústica, dentre outros.

Por fim, este trabalho também objetiva trazer uma contribuição didática aos alunos do curso de graduação em geofísica, sobretudo os que cursam as disciplinas iniciais e a de métodos acústicos. Os resultados deste trabalho abordam conceitos básicos que serão vistos ao longo do curso, que podem ser aproveitados não somente no domínio laboratorial, das "altas frequências", mas também extrapolados para a visão de conceitos da sismica de grandes profundidades.

### **3-Área de Estudo.**

#### **3.1- Bacia de Campos.**

A Bacia de Campos localizada ao longo de parte do litoral do Estado do Rio de Janeiro e do Espírito Santo possui uma área de aproximadamente 120.000 km<sup>2</sup>, sendo a maior parte deste território presente na porção *offshore*, uma vez que sua área emersa tem em torno de 500 km<sup>2</sup> (fig.1).

Existem discussões quanto às estruturas que delimitam a bacia em questão, mas de maneira geral, a literatura atribui ao Alto de Vitória ao Norte e ao Sul o Alto de Cabo Frio.

A evolução geológica desta bacia que remonta ao princípio do Cretáceo é contemporânea à formação do Oceano Atlântico, sendo caracterizada pela presença de três grandes megassequências, típicas das bacias da margem leste brasileira: Rifte, transicional e deriva.

Esta evolução geológica foi responsável pela criação de um sistema petrolífero altamente profícuo, que por sua vez garantiu a presença de mais 200 poços perfurados em três décadas de exploração e produção, bem como a criação de dezenas de campos petrolíferos. Estes fatos garantem à Bacia de Campos o título de principal Bacia produtora de hidrocarbonetos no Brasil (cerca de 85% da produção nacional).

No entanto, esta evolução geológica - que requer uma abordagem longa e minuciosa - não será abordada em toda sua extensão neste trabalho monográfico, sendo analisada somente sua etapa final, a sedimentação quaternária. Este item será trabalhado a frente.

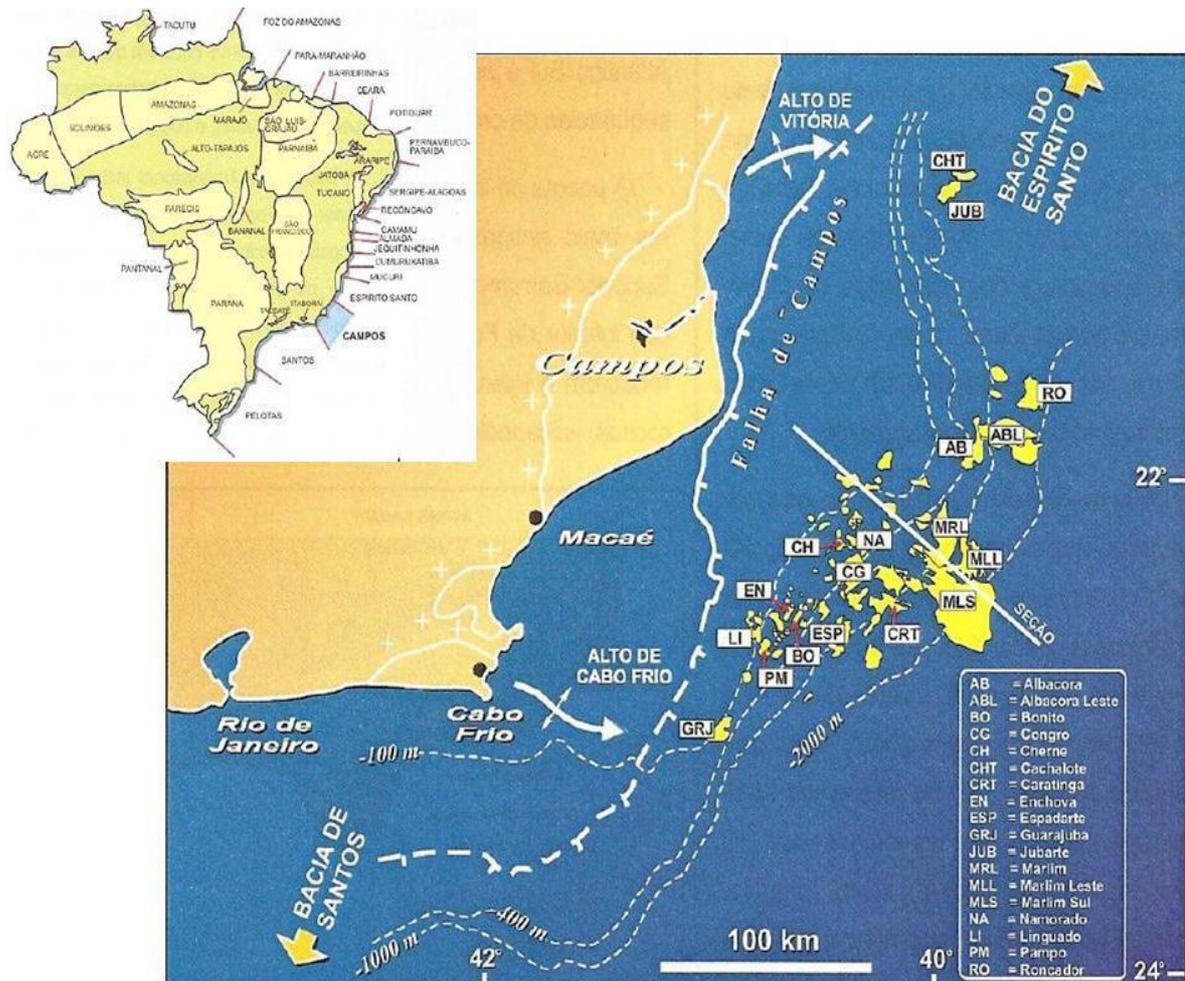


Figura 1: Bacia de Campos.

### 3.2- Alto de Cabo Frio.

O Alto de Cabo Frio caracteriza-se por ser uma feição geológica elevada do embasamento, encontrando-se entre as latitudes 22,5° e 23,5° S.

Seu arcabouço estrutural delimita os depocentros da porção norte da Bacia de Santos e sul da Bacia de Campos (Fig.2). O Alto de Cabo Frio está localizado na região da margem continental onde se verifica a inflexão da linha de costa e da plataforma continental, passando de E-W na Bacia de Santos, para NE-SW na Bacia de Campos (Silva, 2010).

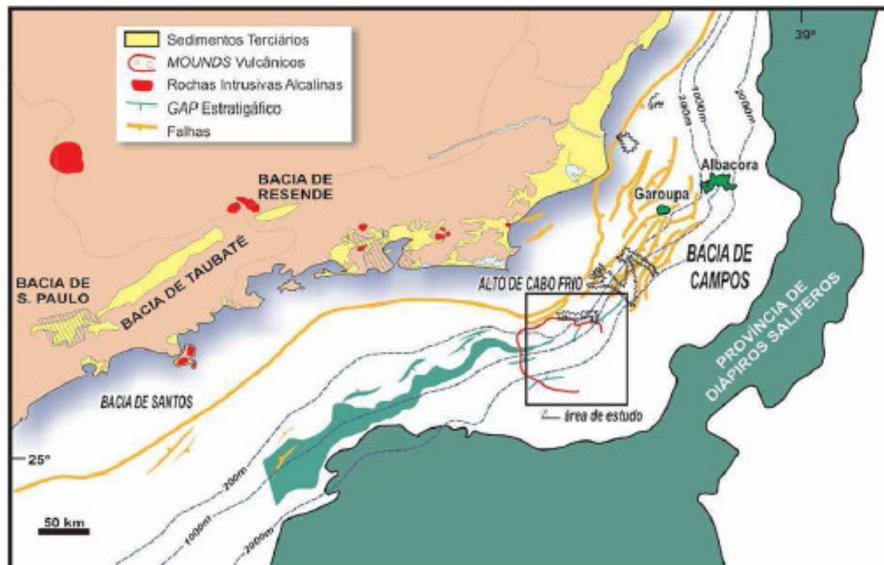


Figura 2: Alto de Cabo Frio (Silva, 2010).

### 3.3- Localização dos testemunhos - distribuição sedimentar.

Os testemunhos aqui analisados foram adquiridos numa região de plataforma interna e média, nas proximidades do alto de Cabo Frio, no Sul da Bacia de Campos em profundidades em torno de 100m, abrangendo as porções do *setor morfológico interno* (até 100m) e *externo* (a partir de 100m) proposto por Alves & Ponzi, 1984 (Fig 3).

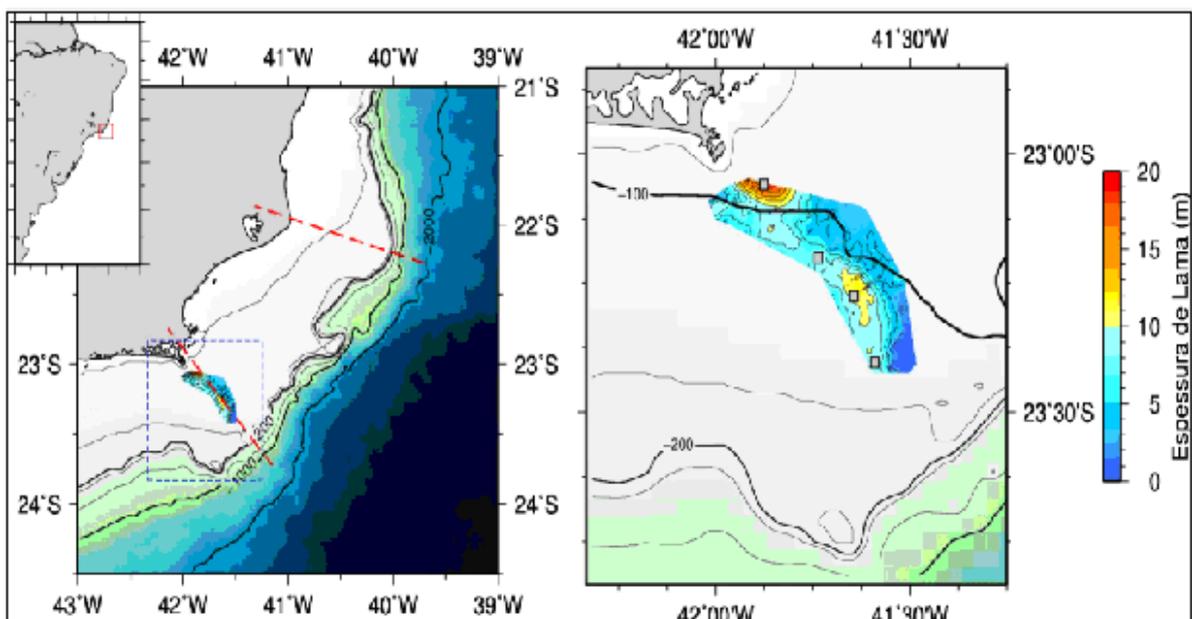


Figura 3: Localização dos testemunhos (Albuquerque *et al.* 2012).

O conhecimento da sedimentação na margem continental brasileira como um todo pode ser verificado por diversos estudos, sendo os pioneiros realizados pelo projeto *Remac* e Programa *REVIZEE*. Estes estudos forneceram avaliações sobre os processos de sedimentação, bem como mapas que caracterizam a distribuição sedimentar na área de interesse deste projeto Figura 4.

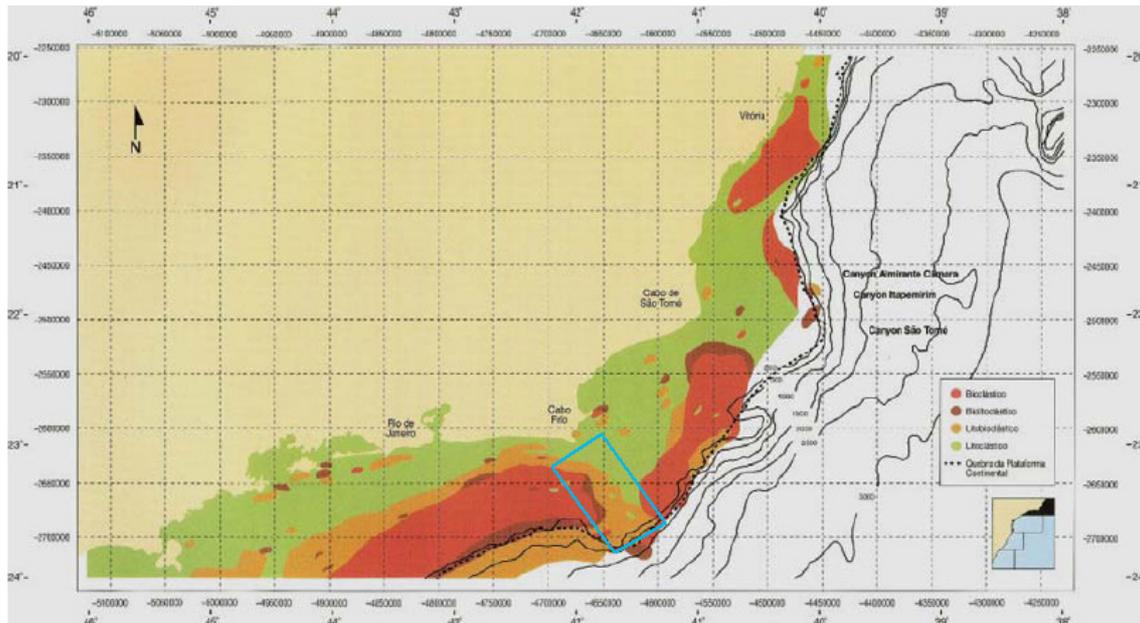


Figura 4: Mapa de composição dos sedimentos conforme a classificação Larssonneur. Área destacada em azul indica área de estudo desta monografia. Fonte: Figueiredo, 2004.

O mapa supracitado segue a classificação de Larssonneur, na qual a tipologia do sedimento é dada através dos percentuais de carbonato e pela granulometria. De acordo com o mapa acima a área de interesse é de domínio essencialmente litoclástico (com teor de carbonato menor que 30%), tendo um predomínio acentuado de sedimentos lamosos, fato que pode ser verificado na figura 5.

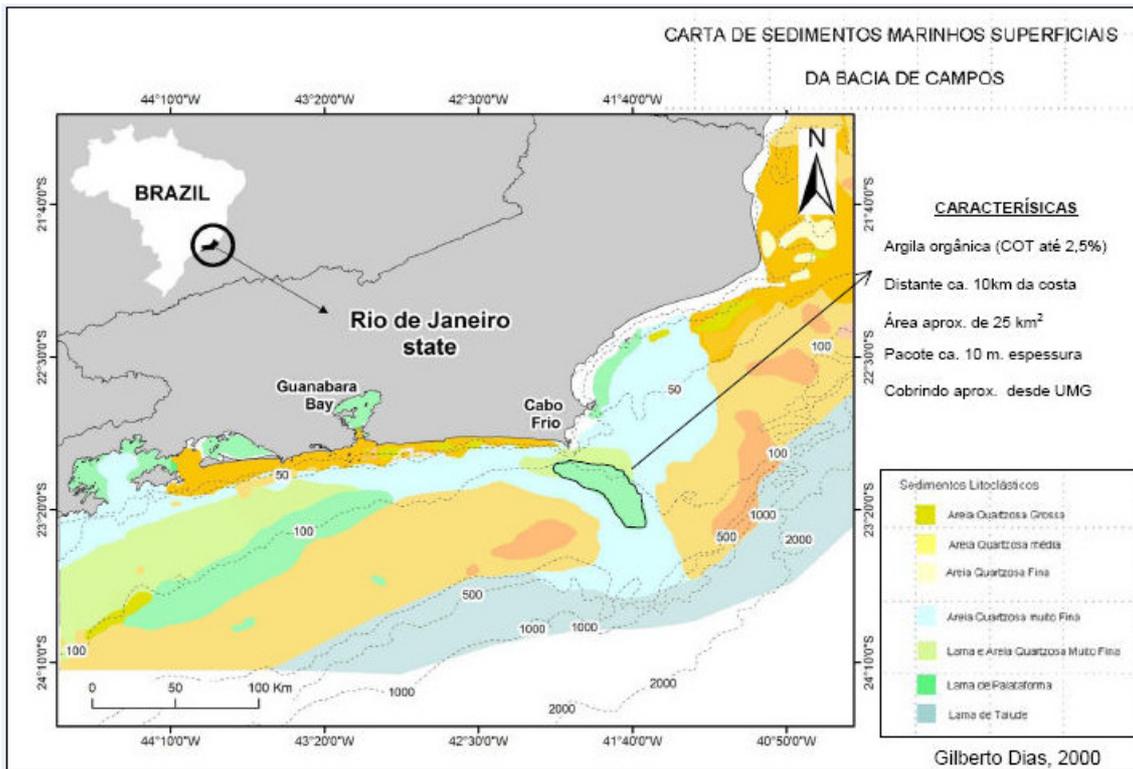


Figura 5: Distribuição sedimentar segundo Shepard. Fonte: Dias, 2000.

### 3.4- Fisiografia e sedimentação.

Os testemunhos aqui abordados trazem informações de cunho sedimentar que devem ser correlacionados temporalmente ao quaternário, sendo assim é importante a análise da região da plataforma continental pleistocênica-holocênica da região de interesse.

A evolução das plataformas quaternárias deriva da interação de diversos elementos alocíclicos e autocíclicos, condicionados de forma decisiva pelas variações glaciais e eustáticas (Reis et al. 2011). Estas oscilações foram determinantes na regulamentação do aporte sedimentar; nos processos oceanográficos bem como no regime tectônico. A soma destes fatores condiciona não somente a arquitetura sedimentar, mas também toda a fisiografia das plataformas continentais quaternárias (Alves & Ponzi, 1984).

Entre 800 e 130k anos (Pleistoceno médio) houve um registro dominante de ciclos glaciais e eustáticos de baixa frequência e elevada amplitude (aproximadamente 100k anos e 120-140m) (Reis et al. 2011). Os

registros eustáticos de tal magnitude e freqüência promoveram variações importantes no nível de base, resultando no trânsito de ambientes costeiros e de transição sobre a plataforma continental, gerando sucessivas regressões. (Reis et al. 2011).

Se avaliarmos os aspectos morfológicos, a submissão de uma plataforma continental a condições de regressão forçada, em que durante longos períodos ocorreram exposição e erosão subaérea (glaciações), e em seguida a ocorrência de breves períodos de submersão plataformal em efêmeros níveis de mar alto (interglaciais), verificaremos claras modificações fisiográficas.

Entre o Pleistoceno Superior e o recente, as plataformas continentais passaram por diversas regressões marinhas, num processo conhecido como *Regressão Wisconsiniana*, expondo e erodindo as plataformas em todo o planeta (Kowsmann et al., 1977). Por fim uma rápida transgressão marinha foi responsável pelo afogamento destas plataformas no Holoceno (11k anos). (Reis et al. 2011).

A região plataformal aqui estudada esteve submetida aos eventos supracitados, tanto no setor morfológico interno (cota de até 100 m) quanto no externo (acima de 100m). Na região com cotas batimétricas de até 100 m encontram-se desníveis morfológicos marcados por formas convexas do fundo submarino, não sendo encontradas feições erosivas verificáveis com os dados sísmicos disponíveis no trabalho de Reis et al. (2011). (sísmica monocanal *sparker* 500-1000J). Já nas cotas acima de 100m, ocorrem irregularidades locais e alguns desníveis morfológicos, formando escarpamentos erosivos que por sua vez causam truncamentos no fundo (Reis et al. 2011).

## 4-Fundamentação Teórica

### 4.1-Carbono orgânico total - COT.

Em solos e sedimentos, existem três formas básicas de carbono (C), eles são: C elementar, C inorgânico e C orgânico. A qualidade da matéria orgânica em sedimentos é crítica para a separação e avaliação da biodisponibilidade do sedimento (Rheinheimer et al 2007).

As formas de C elementar incluem essencialmente carvão, fuligem e grafite. Estas fontes primárias de carbono em solos e sedimentos são produtos de combustão incompleta ou provenientes de atividades mineradoras.

O carbono inorgânico é derivado essencialmente de fontes geológicas, sendo os solos e sedimentos com C desta ordem, freqüentemente advindos de áreas com presença de rochas carbonáticas. Os dois minerais de carbonato mais comuns são a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e a dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ].

A determinação do carbono orgânico total (COT) tem sido utilizada para avaliar quantitativamente a fração orgânica nos testemunhos sedimentares, fato que auxilia no entendimento de suas várias propriedades químicas, biológicas e no caso mais preciso deste trabalho as propriedades físicas (Rheinheimer et al 2007).

A ocorrência natural de carbono orgânico é derivada da decomposição de plantas e animais. Em solos e sedimentos, está presente uma grande variedade desta forma de carbono e variam desde elementos recém-depositados, por exemplo, folhas, microorganismos e pequenas carcaças de animais. Valendo ressaltar que as atividades antrópicas, sobretudo a partir dos primeiros anos da Revolução industrial são extremamente eficazes na emissão de materiais orgânicos em diversas áreas do planeta, incluindo as plataformas continentais e seus sedimentos.

Antes de qualquer análise de COT a amostra sedimentar deve ser recolhida e tratada adequadamente. Durante a coleta e manuseio das amostras, podem ocorrer perdas de compostos orgânicos em função de: degradação microbiana, secagem da amostra, oxidação, volatilização e outros. Recomenda-se que as amostras fiquem armazenadas à temperatura de 4°C

até 28 dias, visando assim uma redução na inevitável degradação microbiana, resultando numa potencial perda de materiais orgânicos (Shumacher, 2002).

Antes da análise, alguns métodos podem exigir a secagem da amostra. As amostras que possuem compostos orgânicos voláteis e que por ventura tenham passado por um ambiente anaeróbico, sofrerão maior perda de carbono orgânico, quando expostos a secagem, sobretudo se aérea.

O teor de COT é determinado pela diferença entre o conteúdo de carbono total e os teores de carbono inorgânico medidos. Deve-se considerar que em alguns casos as amostras podem ser povoadas somente por carbonos orgânicos, sendo iguais o COT e o carbono total (Shumacher, 2002).

O princípio básico para quantificar o teor de carbono orgânico total depende da destruição controlada da matéria orgânica permeada nos sedimentos, podendo esta ser realizada quimicamente ou através de temperaturas elevadas. O principal objetivo consiste em transformar todas as formas de carbono em CO<sub>2</sub>, medindo-se em seguida direta ou indiretamente a fração de COT com base na presença de carbonatos inorgânicos.

Os métodos de determinação de COT podem ser quantitativos ou semi-quantitativos, dependendo do processo utilizado para destruir a matéria orgânica, bem como para a detecção do carbono presente. Além destes, também há os métodos ditos qualitativos que podem identificar com precisão o tipo de compostos de carbono na amostra, não sendo porém, capazes de determinar o teor de carbono total (Shumacher, 2002).

Visto as formas gerais do cálculo de COT, para solos e sedimentos, Froelich (1980), destaca três técnicas gerais utilizadas para a medição do carbono orgânico total nos sedimentos marinhos. Em primeiro lugar a oxidação úmida do carbono orgânico, feita por um oxidante forte. Outra possibilidade consiste em medir a diferença do carbono antes e depois de combustão a temperaturas elevadas (450° - 600 ° C). Na terceira técnica, a amostra é lixiviada com ácido para eliminar CaCO<sub>3</sub>, facilitando a indicação do carbono orgânico frente ao resíduo sólido restante (Froelich, 1980).

O presente trabalho teve sua determinação quantitativa de COT feito pelo analisador elementar (CHN) em sedimentos descarboxatados com HCl 1N (Fig. 6).



Figura 4: Analisador elementar (CHN) LECO. <http://www.pucrs.br/cepac/?p=equipamentos>

#### **4.2-Velocidade de Onda Compressional - $V_p$ .**

De maneira geral, pode-se qualificar como onda uma perturbação que viaja através de um meio. Existem diferentes tipo de onda, no entanto nos interessa aqui o estudo de uma modalidade de onda mecânica, mais precisamente da onda P.

Este tipo de onda de corpo que possui uma série de sinônimos, como onda compressional ou longitudinal, se propaga no interior de meios elásticos, causando vibração nas partículas na direção de sua propagação (Falcão e Ayres Neto, 2010). Este mecanismo de propagação é descrito na figura 7.

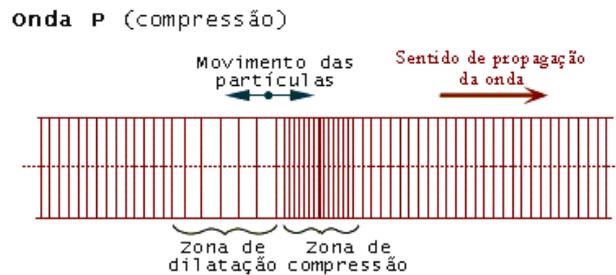


Figura 5: Modelo de propagação da onda P. fonte: [http://domingos.home.sapo.pt/sismos\\_2.html](http://domingos.home.sapo.pt/sismos_2.html)

Para meios homogêneos a velocidade de propagação da onda P é descrita pela equação 1 (Duarte, 2007).

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\delta}} = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\delta}} \quad \text{eq. (1)}$$

- $K \rightarrow$  módulo de compressibilidade.
- $\mu \rightarrow$  módulo de rigidez do material a ser atravessado (para materiais líquidos,  $\mu=0$ ).
- $\delta \rightarrow$  densidade do material a ser atravessado.

Como mencionado acima, a velocidade de onda P é dependente dos módulos de compressibilidade e rigidez. O primeiro está relacionado com a redução do volume de um corpo sob pressão hidrostática em três dimensões, enquanto o segundo está associado à elasticidade longitudinal deste corpo (Falcão e Ayres Neto, 2010).

Frente a esta questão, define-se uma série de parâmetros que influenciam estas constantes nos sedimentos marinhos: porosidade, pressão de confinamento, histórico de tensão, idade geológica, tensão cisalhante, grau de saturação, temperatura e taxa de sobre-adensamento (Woods, 1991). Naturalmente as propriedades elásticas sedimentares dependem desses

parâmetros já que os próprios sedimentos marinhos são compostos de materiais diferentes (Falcão e Ayres Neto, 2010).

Autores como Hamilton & Bachman (1982), Orsin & Dunn (1991) destacam que porosidade, densidade e pressão são fatores que controlam a velocidade de propagação das ondas P, sendo esta maior com o aumento da densidade e com a redução da porosidade (fig. 8).

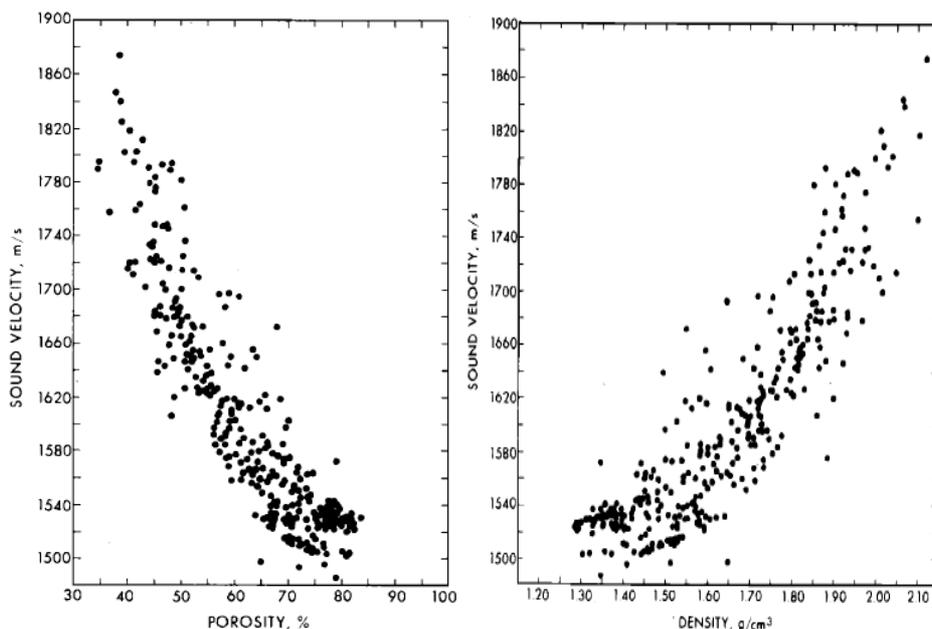


Figura 6: Gráficos de correlação Vp x porosidade e Vp x densidade. Hamilton & Bachman (1982).

Tipo de sedimento	Vp (m/s)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade (%)
Areia grossa	1836	2,034	38,6
Areia fina	1759	1,962	44,5
Areia muito fina	1709	1,878	48,5
Areia siltosa	1658	1,783	54,2
Silte arenoso	1644	1,769	54,7
Silte	1615	1,740	56,2
Areia-silte-argila	1582	1,575	66,3
Silte argiloso	1546	1,489	71,6
Argila siltosa	1517	1,480	73,0

Figura 7: Vp versus densidade e porosidade -Valores médios. (Hamilton & Bachman, 1982).

Tipo de sedimento	Shumway (1960)	McLeroy and Loach (1968)	Hamilton (1980)		Richard e Briggs (2004)		Macedo (2006)		Falcão (2009)	
					mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Areia grossa	--	--	1836		--	--	--	--	1235,5	1612,8
Areia média	1737	1815	--		1735	1774,1	1555	1752	--	--
Areia fina	1693	--	mínimo	máximo	1651,9	1764,2	1635	1715	--	--
			1702	1749						
Areia lamosa	1551	1540	1646		1511,4	1617,6	1550	1644	--	--
Lama arenosa	1541	--	mínimo	máximo	1609,7	1652,4	1492	1639	1309,4	1777,9
			1579	1652						
Lama	mínimo	máximo	1520	1615	1480,4	1554,6	1493	1600	1385,6	1549,9
	1495	1548								

Figura 8: Velocidade de onda compressional ( $V_p$ ) em sedimentos marinhos saturados, medidos em laboratório. (Macedo, 2006).

### 4.3-Densidade.

A definição de densidade de um material ( $\rho$ ) amplamente aceita, equivale à razão da massa  $m$  de todas as partículas de um material pelo volume total  $V$  que as mesmas ocupam (eq. 2).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{eq. (2)}$$

No entanto o cálculo ou mesmo a estimativa da densidade em materiais como sedimentos, gera a necessidade da aplicação de uma fórmula mais complexa de densidade (Shon, 1996). Neste sentido, quando busca-se definir a

densidade de materiais com "n" constituintes diferentes (fig. 11), deve-se proceder com a seguinte formulação (Shon, 1996):

$$\rho = \sum_{i=1}^n \left(\frac{V_i}{V}\right) \rho_i \quad \text{eq. (3)}$$

Onde  $\rho_i$  é a densidade,  $V_i$  é o volume do componente i e  $V_i/V$  é a fração do volume do componente i.

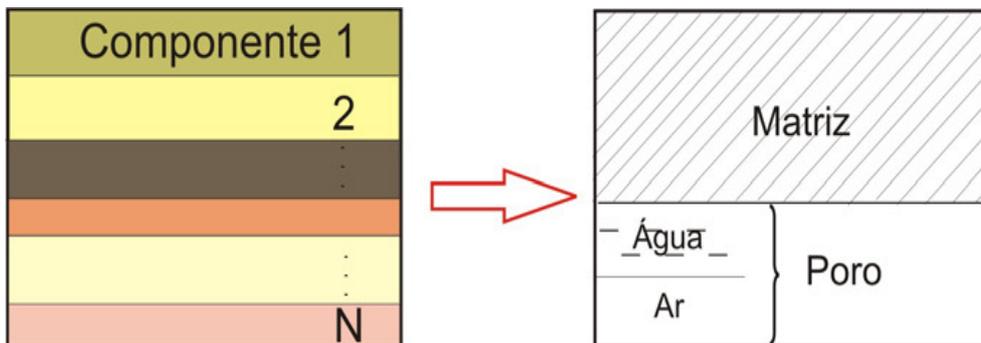


Figura 9: Modelo de densidade dos sedimentos/rochas para a) n constituintes e b) matriz e dois constituintes de espaço poroso. (Souza, 2010).

Genericamente, a densidade dos sedimentos é controlada pela composição mineral, porosidade e condições de saturação (conteúdo de fluidos nos poros) (Schon, 1996).

#### 4.4-Impedância Acústica.

Por definição entende-se o conceito de impedância acústica como o produto da velocidade de propagação da onda primária ( $V_p$ ) pela densidade ( $\rho$ ) do material em que esta onda se propaga.

A equação que a expressa é dada por:

$$IA = \rho V_p \quad \text{eq. (4)}$$

A impedância acústica é controlada principalmente pela variação da densidade (Ayres *et al.*, no prelo). Isso se deve porque, em termos percentuais, a densidade de sedimentos marinhos varia muito mais (em torno de 55%) enquanto a velocidade de ondas P variou apenas 11%.

#### 4.5-Porosidade.

A definição de porosidade  $\Phi$  é dada pela razão do volume de vazios ou espaços porosos  $V_p$  pelo volume total  $V$  do pacote sedimentar.

Esta definição é expressa pela equação:

$$\phi = \frac{V_p}{V} = 1 - \frac{V_m}{V} \quad \text{eq. (5)}$$

Onde  $V_m$  é o volume de matriz de sólidos. A porosidade é uma grandeza adimensional que é expressa em porcentagem (0 a 100%) ou fração decimal (0 a 1). A figura 12 exemplifica esquematicamente o conceito abordado acima.

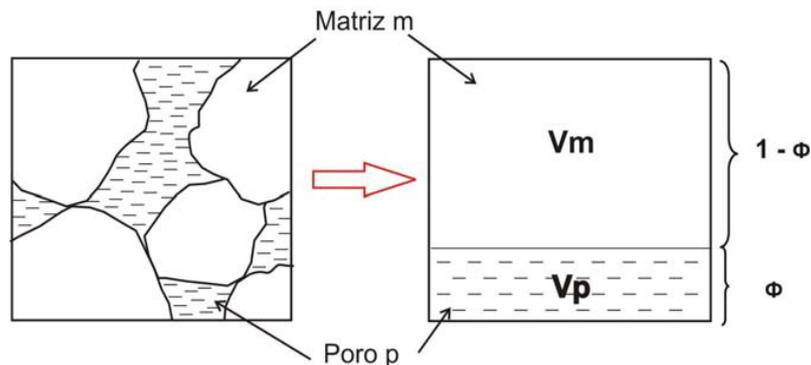


Figura 10: Definição de porosidade.

Fonte: Souza, 2010.

É possível correlacionar diretamente as propriedades geométricas dos grãos com a porosidade, como tamanho, distribuição e forma dos grãos. Na tabela abaixo pode-se observar os valores médios de porosidade obtidos por

Hamilton e Bachman (1982). Estes dados são provenientes de regiões de plataforma e talude de diversas regiões do mundo (fig.13).

Tipo de sedimento	Diâmetro médio dos grãos (mm)	Porosidade (%)
Areia grossa	0,5285	38,6
Areia fina	0,1638	44,5
Areia muito fina	0,0988	48,5
Areia siltosa	0,0529	54,2
Silte arenoso	0,0340	54,7
Silte	0,0237	56,2
Areia-silte-argila	0,0177	66,3
Silte argiloso	0,0071	71,6
Argila siltosa	0,0022	73,0

Figura 11: Valor médio de porosidade para sedimentos marinhos. Fonte: (Hamilton & Bachman, 1982)

#### 4.6 - Diagramas de dispersão bidimensionais.

O entendimento dos diagramas de dispersão bidimensionais, assim como algumas discussões futuras neste trabalho, gera a necessidade da explanação de alguns conceitos associados à estatística descritiva, tais como a idéia de desvio padrão, covariância e coeficiente de variação.

##### 4.6.1-Desvio Padrão.

Entende-se por desvio padrão uma medida de dispersão utilizada com a média, buscando assim medir a variabilidade dos valores à volta da média. Sendo assim, se o valor medido do desvio padrão for zero, isto indicará que não há variabilidade, portanto todos os valores são iguais à média.

Os desvio padrão( $S$ ), é por definição a raiz quadrada da variância, como indicado na equação abaixo:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{eq. (6)}$$

#### 4.6.2- Coeficiente de variação.

O coeficiente de variação é uma medida de dispersão que objetiva comparar diferentes distribuições. Considerando que o desvio padrão é uma medida de dispersão relativa à média, e como duas distribuições podem ter valores médios distintos, o desvio dessas duas distribuições não é comparável. Sendo assim, é necessário dividir o desvio padrão (S) pela média ( $\mu$ ), obtendo-se o coeficiente de variação( $cv$ ), ou desvio médio Equação 7:

$$cv = \frac{S}{\mu} \quad \text{eq. (7)}$$

#### 4.6.3-Diagramas de dispersão - Coeficiente de correlação.

Os diagramas de dispersão geram gráficos onde pontos no espaço cartesiano X -Y são usados para representar simultaneamente os valores de duas variáveis quantitativas medidas em cada elemento do conjunto de dados.

Os gráficos de dispersão são recorrentemente utilizados, com o objetivo de visualizar a relação/associação entre duas variáveis, mas também é muito útil para comparar o efeito de dois tratamentos no mesmo indivíduo, assim como verificar o "efeito tipo" antes e depois de um determinado tratamento.

Feito os gráficos, busca-se verificar o quanto as variáveis são correlacionáveis, através do cálculo do coeficiente de correlação, ou seja, avalia-se o quanto a nuvem de dispersão do gráfico se aproxima de uma reta.

O coeficiente de correlação máximo é dado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{(n-1)S_x S_y} \quad \text{eq. (8)}$$

Sendo que,  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$  são as médias amostrais das variáveis  $X$  e  $Y$ , respectivamente e  $S_x$  e  $S_y$  são os desvios padrão de  $X$  e  $Y$  respectivamente.

De acordo com Anderson e Finn (1997), os coeficientes de correlação podem ser classificados da seguinte maneira: 0 - 0,3 correlação fraca, de 0,3 - 0,6 correlação moderada e de 0,6 - 1 correlação forte, sendo o mesmo válido para seus simétricos.

## 5-Metodologia

### 5.1- Aquisição dos dados.

O desenvolvimento deste trabalho está baseado em quatro etapas diferentes. A primeira delas foi a aquisição dos testemunhos. Estas amostras de aproximadamente 4m foram obtidas numa região de plataforma rasa, com profundidades de aproximadamente 100m. Estes testemunhos foram adquiridos através de um *piston core* tipo Kullenberg.

Este método de aquisição direta utiliza a queda livre apoiada pela pressão hidrostática para alcançar os sedimentos marinhos. O testemunho desliza através de um "barril de testemunhagem", reduzindo assim a fricção das paredes com o sedimento, favorecendo a evacuação da água deslocada do topo do testemunho. (Schumacher, 2003). O *piston core* possui um mecanismo de disparo (que garante um maior alinhamento do testemunhador), um dispositivo que retém os sedimentos e um pistão. Esta forma de aquisição de testemunhos sedimentares é descrito na figura 14.



Figura 12: mecanismo de aquisição - *piston core*. Fonte: <http://oceanworld.tamu.edu>

## 5.2- Perfilagem (MSCL)

Na segunda etapa, realizou-se a perfilagem dos testemunhos, através do *Multi Sensor Corer Logger* (MSCL). Neste mecanismo, o testemunho segue por trilhos, ainda envolvido em um tubo de PVC, passando por diversos sensores.

As medições e incrementos são definidos pelo usuário por comandos via software. Desta forma, criam-se os registros, que podem ser processados e exibidos graficamente em tempo real nos computadores ligados ao perfilador (fig. 15).

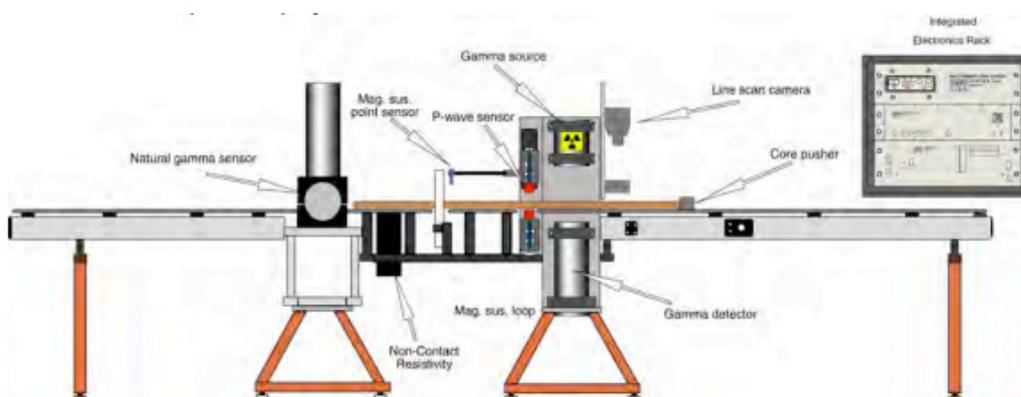


Figura 13: Perfilador MSCL. (<http://geotek.co.uk/sites/default/files/MSCLOverview.pdf>)

Os sistemas de sensores que podem ser montados no padrão MSCL são: Onda P; densidade gama; resistividade; susceptibilidade magnética; espectrofotômetro de cor; gama natural e sistema de imagem Geoscan. O usuário tem a possibilidade de criar registros, por exemplo, de onda P e gama, quer horizontalmente ou verticalmente, apenas mudando o arranjo mecânico.

Figueiredo *et al* (2008), descreve as formas com que a densidade e Velocidade de onda P são adquiridas através deste perfilador (Fig 16). Sendo a primeira advinda de um arranjo de transdutores de ultra som (frequência de 250 kHz), enquanto a medida de densidade é proveniente de sensores de densidade gama, que através do efeito compton, calculam a densidade gama do testemunho. Esta densidade, pode ser associada à densidade volumétrica de maneira bastante precisa (Figueiredo *et al*, 2008).

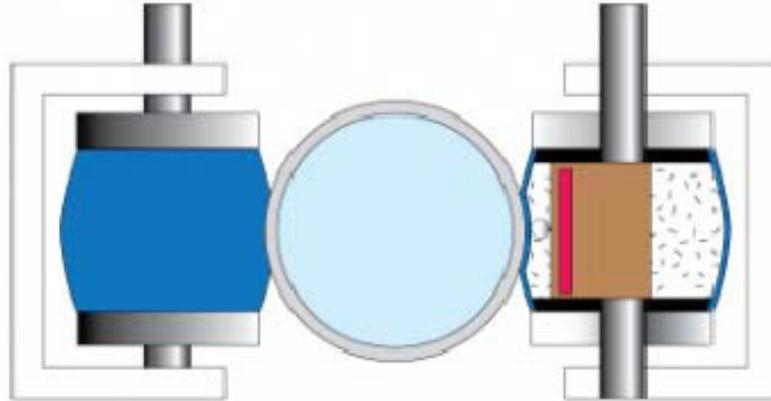


Figura 14: Sistema de medição de Vp no MSCL.

Fonte: MSCL, 2007.

Neste trabalho foram obtidas medidas de velocidade de onda P, densidade gamma, impedância acústica e suscetibilidade magnética.

Na seqüência, foram obtidos os valores de teor de água, assim como a descrição sedimentológica.

Com estes valores tabelados foram feitos diversos gráficos de dispersão bidimensional, tendo como variável em destaque o COT, buscando verificar o quanto este parâmetro pode afetar as propriedades acústicas dos sedimentos marinhos superficiais.

## **6-Resultados.**

Após a aquisição e tratamento dos testemunhos, disponibilizou-se um conjunto diversificado de dados, tais como percentual de COT, teor de água, velocidade de onda P, densidade, impedância acústica, porosidade, granulometria média, etc.

### **6.1-Tratamento dos dados.**

Na busca por um melhor entendimento sobre o quanto o componente orgânico pode afetar as propriedades acústicas dos sedimentos superficiais marinhos, lançou-se mão de algumas ferramentas da estatística descritiva, tais como a criação de gráficos de dispersão bidimensionais, visando a avaliação das correlações dos dados com uma variável fixa COT, assim como a avaliação das médias, desvios padrão, coeficiente de variação e covariância, itens fundamentais para o entendimento da variabilidade dos dados correlacionando-os.

Originalmente os dados possuíam alguns problemas, associados basicamente ao caráter nulo de algumas células, bem como a valores espúrios, resultando em correlações mais frágeis. No testemunho CF 10-01B e CF10-09A, foram encontrados valores espúrios essencialmente nas extremidades dos testemunhos (profundidades de 3,75m e 4,00m respectivamente), enquanto no testemunho CF10-04A os valores espúrios tiveram ocorrência mais comum na profundidade de 0,70m. O testemunho CF 10-15A não apresentou um padrão de valores espúrios por profundidade.

Após a remoção destes itens indesejados, notou-se uma melhoria significativa na correlação dos dados. Com os dados limpos, pode-se calcular não somente o grau de correlação entre os diversos parâmetros com o carbono orgânico total, assim como estimar outros itens associados à estatística descritiva.

## 6.2-Testemunho CF 10-01B.

O testemunho CF 10-01B possui uma distribuição sedimentar com predominância de areias e siltes, apresentando um teor de água médio de água 27.37% (fig.17).

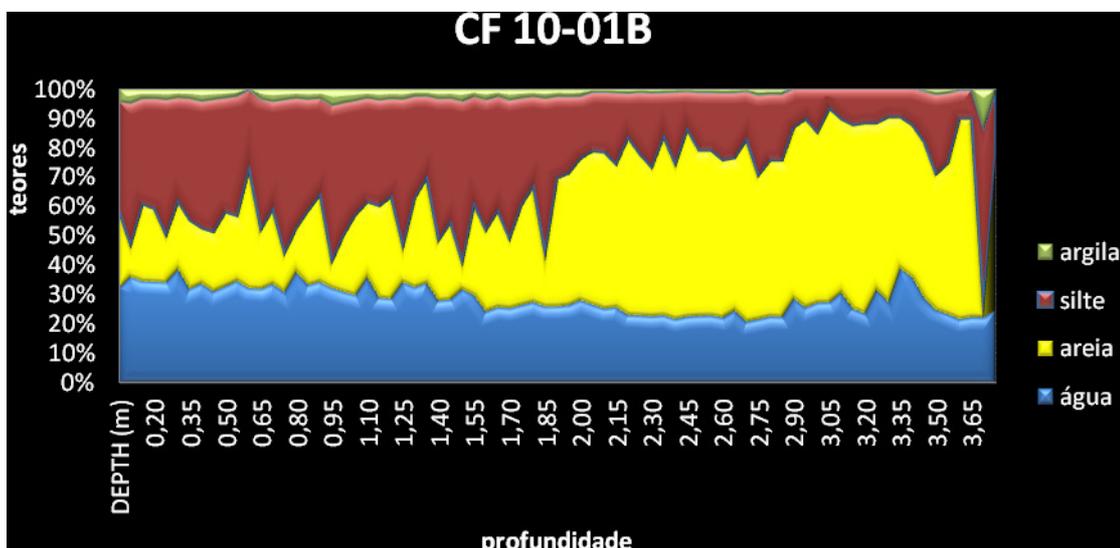


Figura 15: Gráfico de área mostrando a distribuição sedimentar do testemunho CF10-01B.

Nele os valores de Vp variaram entre 1535 m/s e 1742 m/s. De maneira geral há um aumento da velocidade com a profundidade.

Os valores de densidade variam entre 1,67 g/cm<sup>3</sup> e 2,01 g/cm<sup>3</sup>, apresentam um aumento com a profundidade, tendência que acompanha a compactação natural dos sedimentos.

A impedância acústica apresenta valores que variam entre 2,54 m/s.g/cm<sup>3</sup> e 3,32 m/s.g/cm<sup>3</sup>. O comportamento da impedância acústica (produto de Vp pela densidade), é marcado pelo aumento de seus valores com a profundidade.

De maneira inversa os valores de COT (0,50% - 2,65%) e porosidade (0,44% - 0,62%) tendem a diminuir com a profundidade.

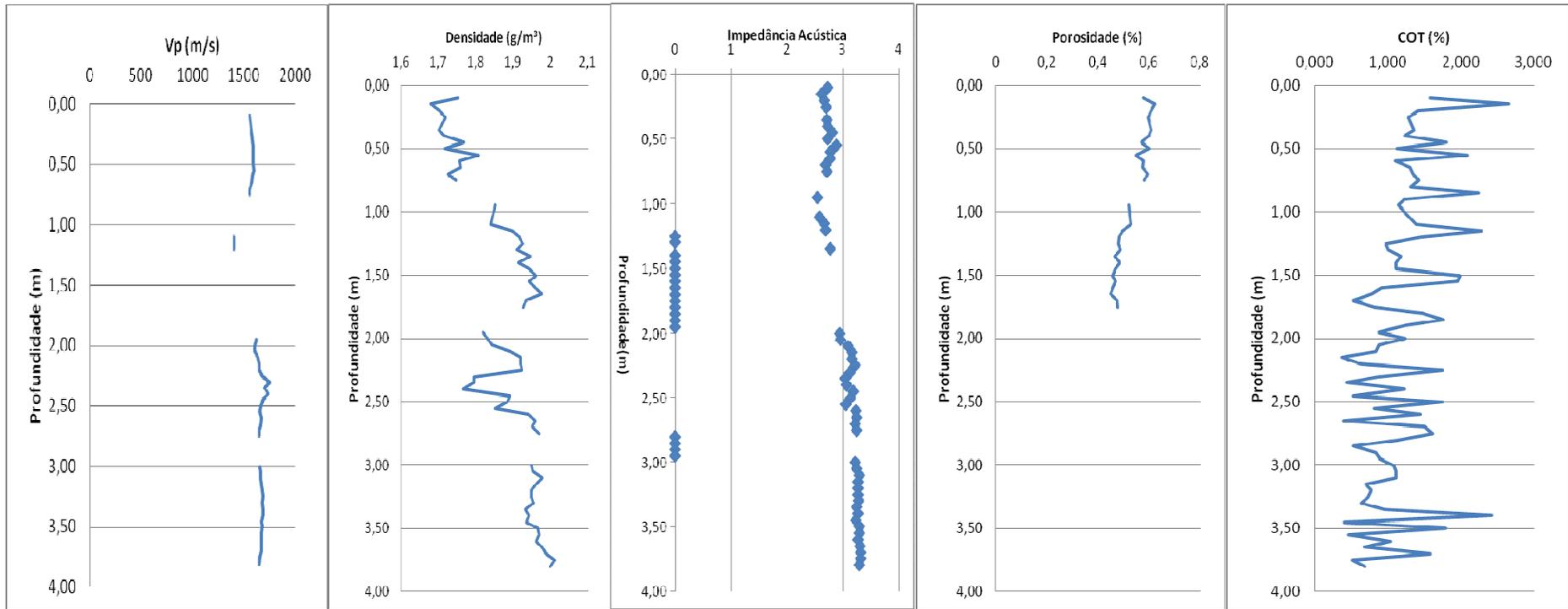


Figura 16: Perfis de Vp, densidade, Impedância acústica, Porosidade e COT. Testemunho CF10-01A.

### 6.3-Testemunho CF10-04A.

O testemunho CF10-04A possui uma distribuição sedimentar com predominância de finos, sobretudo siltes. Este apresenta um teor de água médio de 43,16% (fig. 19).

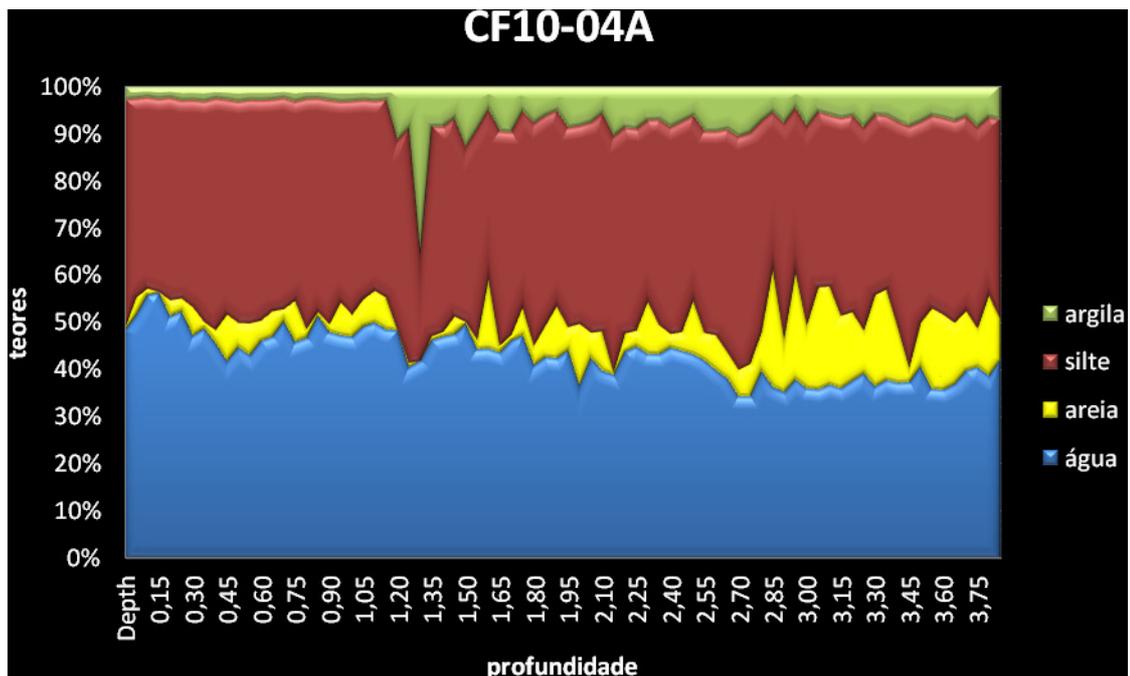


Figura 17: Gráfico de área mostrando a distribuição sedimentar do testemunho CF10-04A.

Os valores de Vp variaram entre 1418 m/s e 1546 m/s. Como esperado, também ocorre um aumento de Vp com a profundidade.

A densidade apresenta a mesma tendência, com variações entre 1,43 g/cm<sup>3</sup> e 1,82 g/cm<sup>3</sup>.

A impedância acústica, assim como Vp e densidade também aumenta com a profundidade, possuindo variações de 2,33 m/s.g/cm<sup>3</sup> e 2,69 m/s.g/cm<sup>3</sup>.

Por outro lado os valores de COT (1,31% - 3,11%) e porosidade (0,57% - 0,75%), tendem a diminuir com a profundidade.

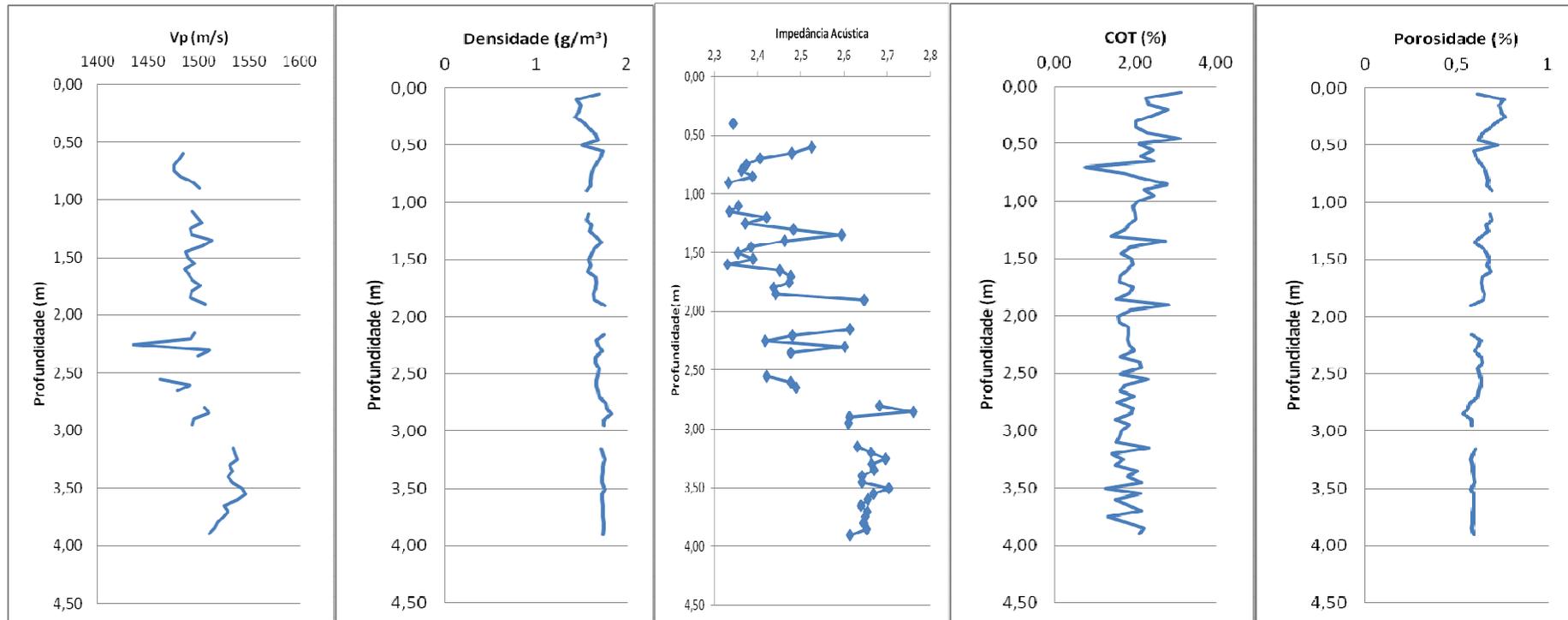


Figura 18: Perfis de Vp, densidade, Impedância acústica, Porosidade e COT. Testemunho CF10-04A.

#### 6.4-Testemunho CF10-09A.

Assim como no testemunho anterior, este possui uma distribuição sedimentar com predominância de finos e com elevado teor de água (média de 47,3%) (Fig 21).

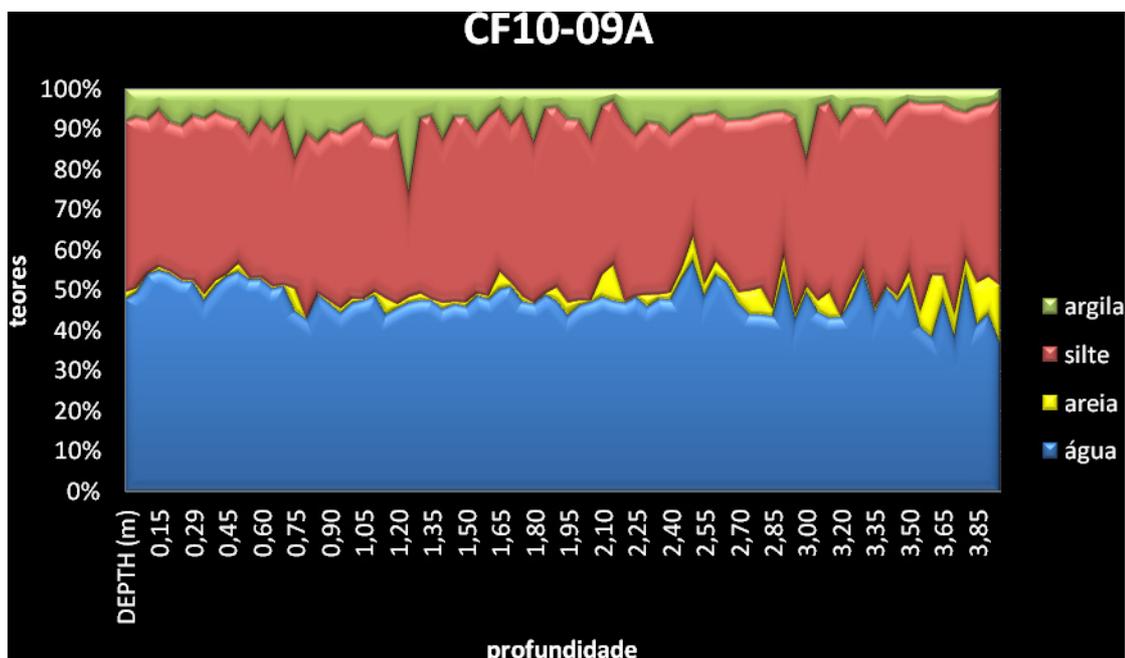


Figura 19: Gráfico de área mostrando a distribuição sedimentar do testemunho CF10-09A.

Os valores de  $V_p$  variaram entre 1451 m/s e 1510 m/s, apresentando a mesma tendência que os testemunhos anteriores (aumento de  $V_p$  com a profundidade). O mesmo vale para a densidade, que apresentou variações de 1,48 g/cm<sup>3</sup> e 1,75 g/cm<sup>3</sup>.

Com a mesma tendência a impedância acústica possui variações de 2,15 m/s.g/cm<sup>3</sup> e 2,65 m/s.g/cm<sup>3</sup>.

Já COT e porosidade que diminuem com a profundidade variaram entre 1,33% - 3,27% e 0,57% - 0,73% respectivamente.

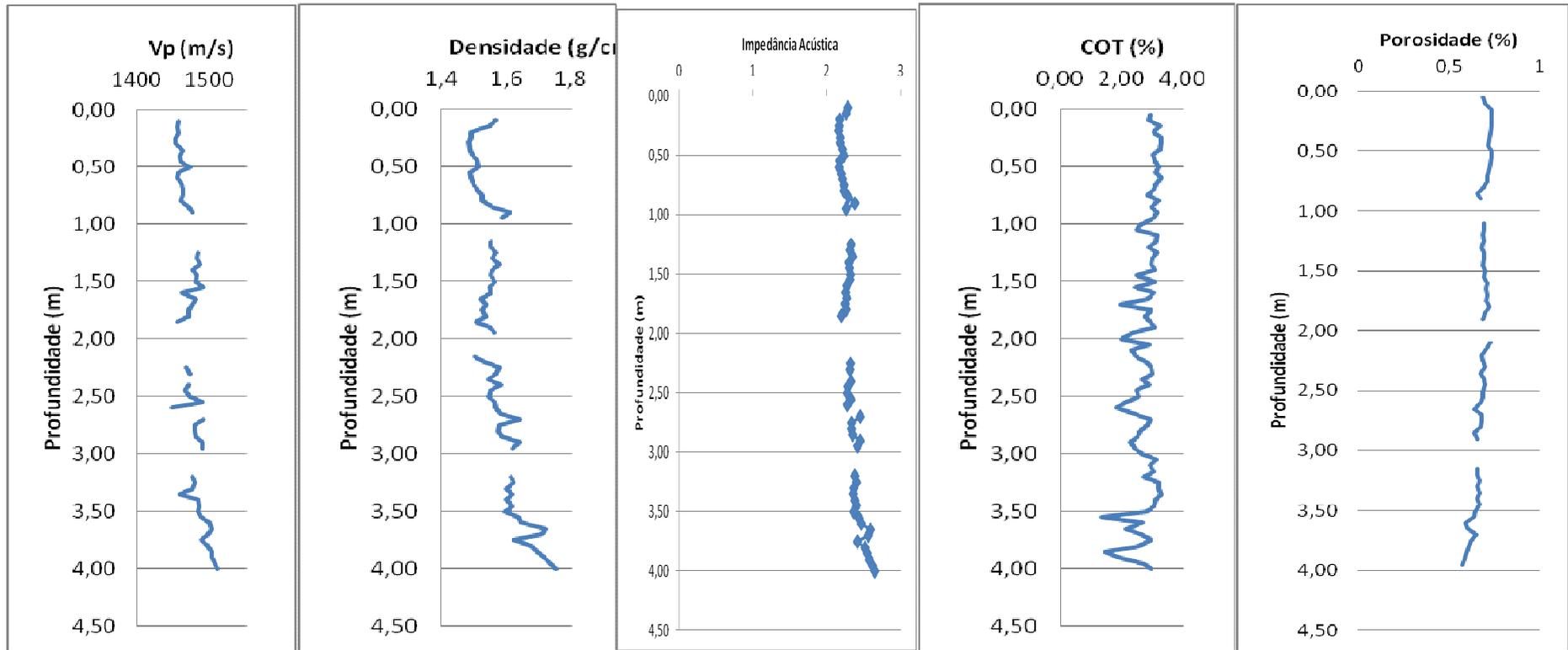


Figura 20: Perfis de Vp, densidade, Impedância acústica, Porosidade e COT. Testemunho CF10-09A.

## 6.5-Testemunho CF 10-15A.

O testemunho CF 10-15A possui uma distribuição sedimentar com predominância de areias e siltes, apresentando um teor de água médio de água 28.30% (Fig 23).

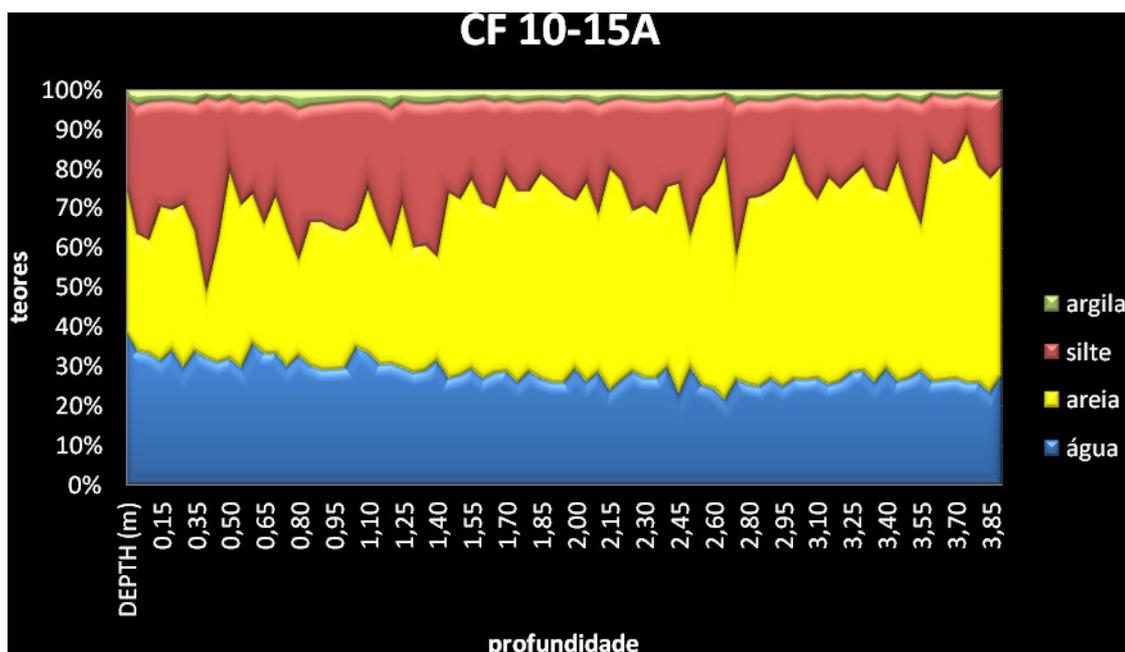


Figura 21: Gráfico de área mostrando a distribuição sedimentar do testemunho CF10-15A.

Este testemunho ao contrário dos outros apresenta variações de velocidade, densidade, impedância acústica, COT e porosidade de maneira inesperada. Enquanto os três primeiros diminuem com a profundidade os dois últimos aumentam com a profundidade. Tendência invertida considerando o processo de compactação dos sedimentos.

As variações de velocidade estão entre 1506 m/s e 1683m/s; as variações de densidade estão entre 1,84 g/cm<sup>3</sup> e 2,21 g/cm<sup>3</sup>; Impedância acústica entre 2,88 m/s.g/cm<sup>3</sup> e 3,35 m/s.g/cm<sup>3</sup>; COT entre 0,65% e 2,01% porosidade entre 0,31% e 0,53%.

É possível que estes valores anômalos estejam ligados a problemas de acoplamento do testemunho ao pvc durante a perfilagem.

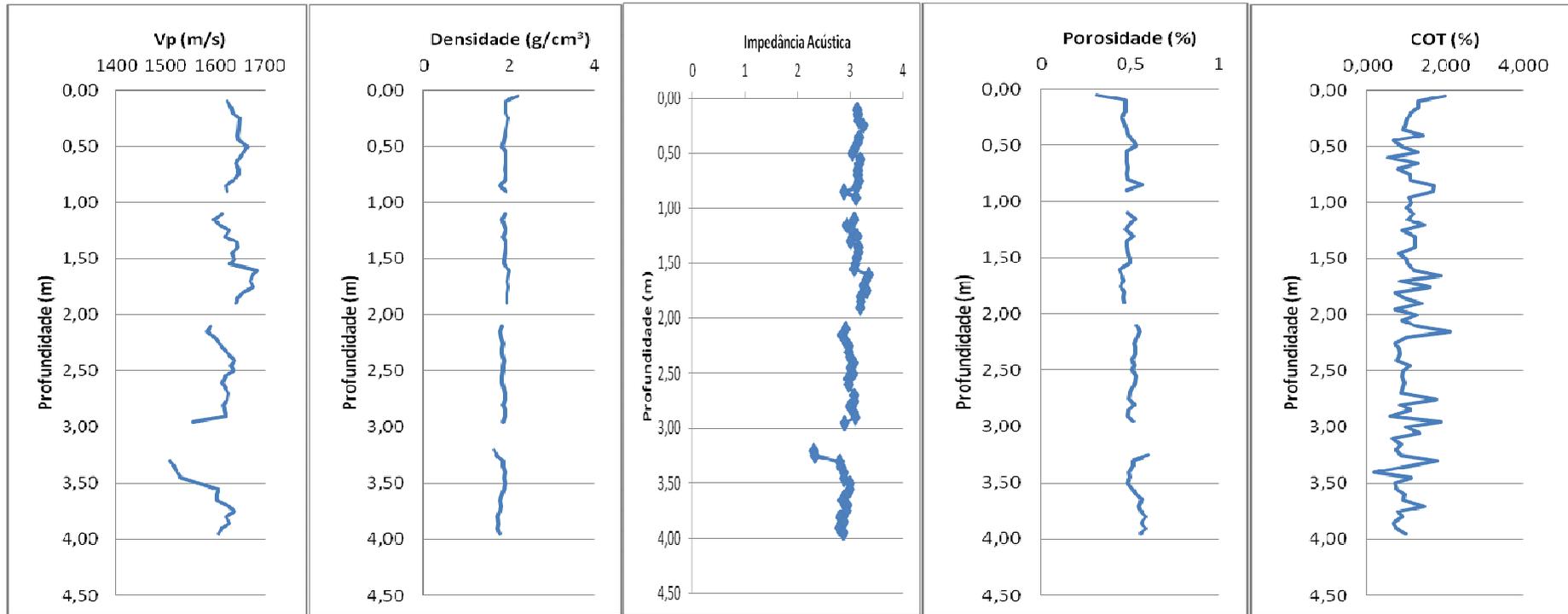


Figura 22: Perfis de Vp, densidade, Impedância acústica, Porosidade e COT. Testemunho CF10-15A.

## 7- Discussão.

Esta etapa visa discutir os resultados estatísticos obtidos. Buscou-se avaliar a relação de COT não somente com os parâmetros físicos dos sedimentos superficiais marinhos, mas também com as características sedimentológicas que compõem os testemunhos aqui estudados.

Os valores médios de carbono orgânico total seguiram uma tendência de maior predominância nos testemunhos onde havia maior presença de finos. Os dados indicam que as frações finas, como silte e argila, exercem grande influência nas concentrações de matéria orgânica, segundo Calvert *et al.* (1985) as argilas, principalmente, tem grande afinidade com as substâncias húmicas, que representam o principal componente da matéria orgânica em sedimentos superficiais marinhos recentes.

Os testemunhos CF10-09A e CF10-04A possuem granulometria com maiores concentrações de siltes e argilas apresentando valores médios de COT de 1,88% e 2,89% respectivamente. Enquanto os testemunhos com maior presença de areias como os testemunhos CF10-01B e CF10-15A, as médias de COT são 1,12% e 1,01%.

Como visto no ítem 4.5 o testemunho CF 10-15A apresenta valores dos parâmetros físicos inesperadamente invertidos, exposto nos perfis de Vp, densidade, impedância acústica e porosidade. Consequentemente a análise estatística também apresentou em sua maior parte um caráter invertido em relação aos outros testemunhos. Portanto o testemunho CF 10-15A, possuirá um ítem de discussão próprio, tendo suas particularidades avaliadas. A análise das correlações feitas deste testemunho não serão consideradas neste tópico.

As correlações de COT com os sedimentos finos são positivas, sendo essencialmente moderadas<sup>1</sup> na maior parte dos testemunhos. A maior correlação (r) foi verificada nos testemunhos CF10-01B para argila  $r=0,43$  e CF10-04A silte  $r=0,49$ . A menor correlação foi encontrada no testemunho CF10-09A argila  $r=0,27$  e silte  $r=0,34$ .

---

<sup>1</sup> Como indicado no ítem 2.6.3 Anderson e Finn (1997) 0 - 0,3 correlação fraca, de 0,3 - 0,6 correlação moderada e de 0,6 - 1 correlação forte, sendo o mesmo válido para seus simétricos.

As correlações com areia tiveram uma tendência simétrica à dos siltes e argilas, ou seja, correlações essencialmente moderadas, porém negativas. A maior correlação foi encontrada no testemunho CF10-09A  $r = -0,52$ . A menor correlação no testemunho CF10-04A  $r = -0,25$ .

Estas correlações que indicam uma relação estreita entre COT e finos, só não é positiva para argilas no testemunho CF10-04A,  $r = -0,52$ . Porém, a contradição aparente têm uma explicação.

No gráfico de área exposto no item 4.3, verifica-se um aumento dos teores de argila com a profundidade, o que implica numa maior compactação e por conseguinte uma redução na porosidade destes sedimentos argilosos.

Esta redução na porosidade implica também numa redução na presença de matéria orgânica, que tende a ocupar os espaços porosos dos sedimentos (Dias & Lima, 2004). Tal tendência é refletida nos gráficos de correlação de COT com porosidade. Nestes ocorre uma correlação positiva, que variou entre moderada e fraca, CF10-09A  $r = 0,51$  e CF10-04A  $r = 0,19$ . Com um valor intermediário entre estes: CF10-01B  $r = 0,30$ .

De maneira inversa à porosidade, sedimentos mais densos apresentam menores índices de COT. Fato verificado nas correlações negativas obtidas. Estas correlações tiveram um caráter de moderado à fraco, variando entre CF10-09A  $r = -0,48$  e CF10-04A  $r = -0,19$ .

Quanto a  $V_p$ , foi verificado uma correlação com COT negativa, variando de fraca à forte, CF10-09A  $r = -0,61$  e CF10-04A  $r = -0,10$ . Com um valor intermediário entre estes: CF10-01B  $r = -0,32$ .

Assim como  $V_p$  e densidade, a impedância acústica apresentou correlações negativas, variando de moderada à fraca, CF10-09A  $r = -0,53$  e CF10-04A  $r = -0,03$ . Com um valor intermediário entre estes: CF10-01B  $r = -0,41$ .

Ao avaliarmos exclusivamente as correlações entre COT e  $V_p$  e de COT com Impedância acústica, não poderemos afirmar se o carbono orgânico total de fato influencia estas propriedades acústicas dos sedimentos marinhos, já que somente com estes dados não é possível isolar os efeitos de COT da porosidade, densidade, granulometria, etc.

No entanto é importante pautar algumas questões. Densidade e porosidade de acordo com Orsin & Dunn (1991); Hamilton & Bachman (1982), afetam de maneira determinante a velocidade de propagação da onda P, com o

crescimento de ambas, Vp aumenta ou diminui respectivamente (o mesmo vale para impedância - Hamilton & Bachman, 1982). Ao mesmo tempo, verificou-se neste ítem uma estreita relação entre COT e porosidade (Dias & Lima, 2004). De maneira inversa, foi visto que a densidade reduz a presença de COT. Todas estas questões foram verificadas nas correlações apresentadas.

Por outro lado, Macedo *et al.* (2009) aponta para a tendência de aumento de Vp e impedância acústica relacionada a um aumento da granulometria, fato também destacado por Hamilton & Bachman (1982), sendo o inverso para os sedimentos finos. Também foi verificado que há uma relação muito forte entre siltes e argilas com COT Calvert *et al.* (1985), enquanto para areias a relação de COT é inversa, fato verificado nas correlações deste trabalho.

CF10-01B	Vp (m/s)	Den (g/cm³)	imp. Acus.	Porosidade (%)	Teor de Água (%)	% Areia	% Silte	% Argila	COT %
Média	1651,34	1,920	3,139	0,524	27,378	60,000	36,910	4,021	1,121
Desvio Padrão	81,99	0,093	0,258	0,059	4,831	21,488	19,507	1,799	
Coefficiente Variação	0,050	0,048	0,082	0,113	0,176	0,358	0,528	0,447	
Correlação(COT)	-0,323	-0,287	-0,411	0,301	0,475	-0,437	0,427	0,433	
Covariância (COT)	-13,892	-0,014	-0,055	0,008	1,161	-4,552	4,038	0,385	

Figura 23: valores estatísticos - testemunho CF10-01B.

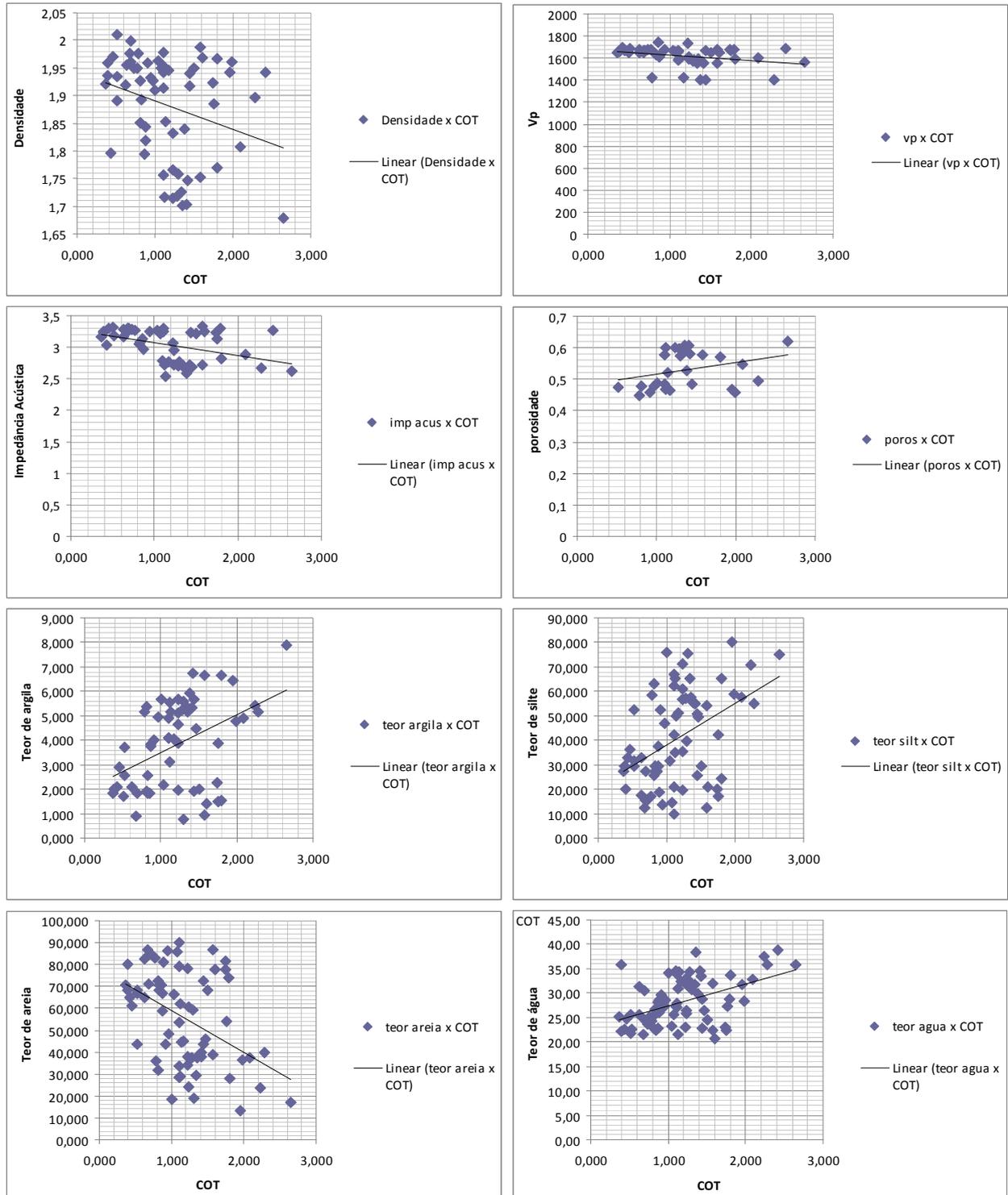


Figura 24: Gráficos de dispersão de COT com densidade, Vp, impedância acústica, porosidade, argila, silte, areia e teor de água. Testemunho CF10-01B.

CF10-04A	Vp (m/s)	Den (g/cm <sup>3</sup> )	imp. Acus.	Porosidade (%)	Teor de Água (%)	% Areia	% Silte	% Argila	COT %
Média	1499,944	1,670	2,483	0,623	43,166	11,060	77,385	10,624	1,883
Desvio Padrão	20,099	0,085	0,126	0,049	5,215	9,393	9,660	4,047	
Coefficiente Variação	0,013	0,051	0,051	0,079	0,121	0,849	0,125	0,381	
Correlação(COT)	-0,102	-0,192	-0,033	0,192	0,448	-0,251	0,497	-0,520	
Covariância	-1,040	-0,070	-0,002	0,004	0,905	-0,944	1,820	-0,806	

Figura 25: valores estatísticos - testemunho CF10-04A.

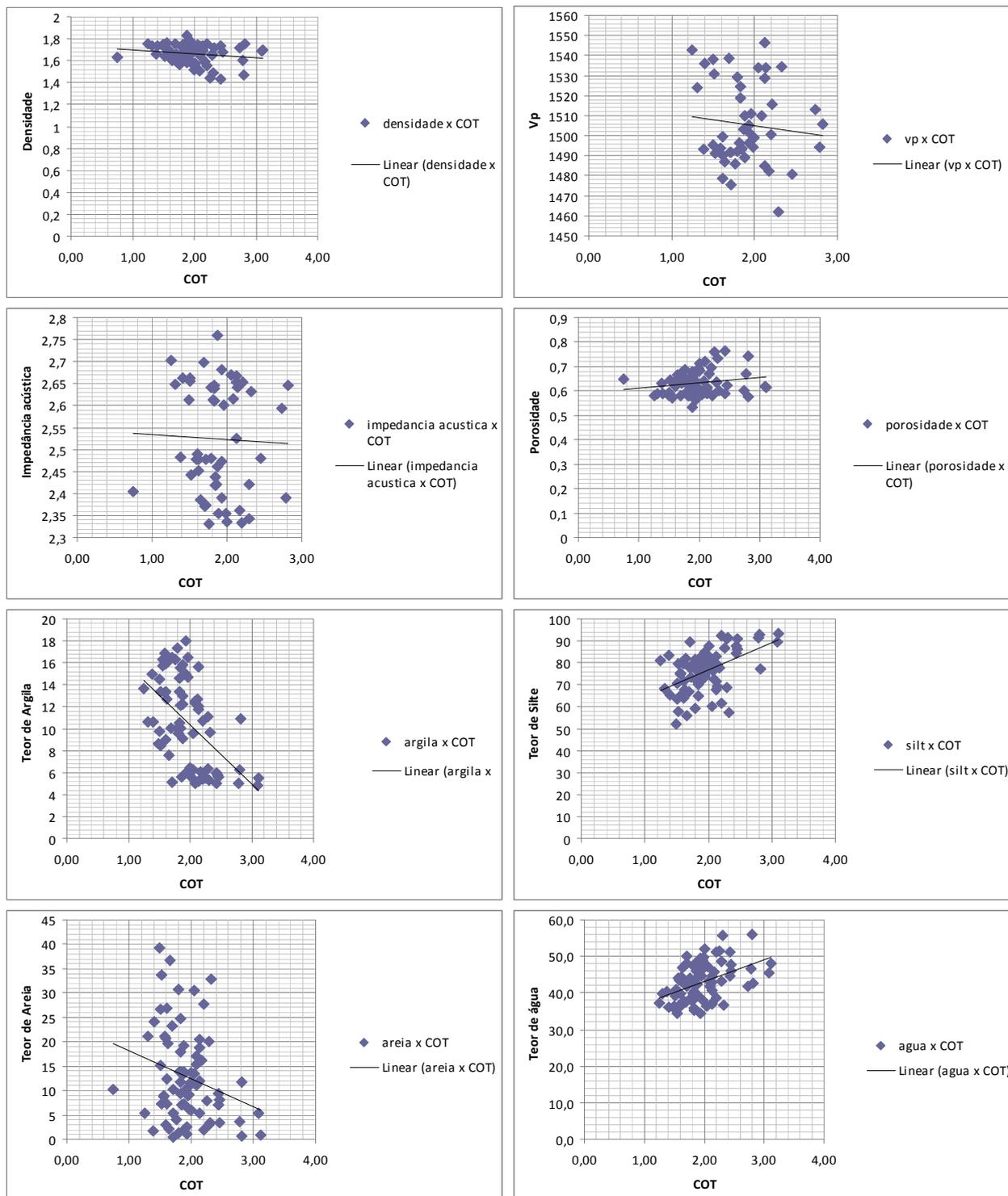


Figura 26: Gráficos de dispersão de COT com densidade, Vp, impedância acústica, porosidade, argila, silte, areia e teor de água. Testemunho CF10-04A.

CF10-09A	Vp (m/s)	Den (g/cm³)	imp. Acus.	Porosidade (%)	Teor de Água (%)	% Areia	% Silte	% Argila	COT %
Média	1475,969	1,562	2,308	0,689	47,329	2,512534	80,710	14,518	2,897
Desvio Padrão	14,767	0,058	0,109	0,032	3,627	4,221852	4,646	5,175	
Coefficiente Variação	0,010	0,037	0,047	0,046	0,077	1,680	0,058	0,356	
Correlação(COT)	-0,612	-0,485	-0,539	0,517	0,563	-0,526	0,273	0,340	
Covariância(COT)	-3,890	-0,012	-0,003	0,007	0,647	-0,921	0,495	0,748	

Figura 27: valores estatísticos - testemunho CF10-09A

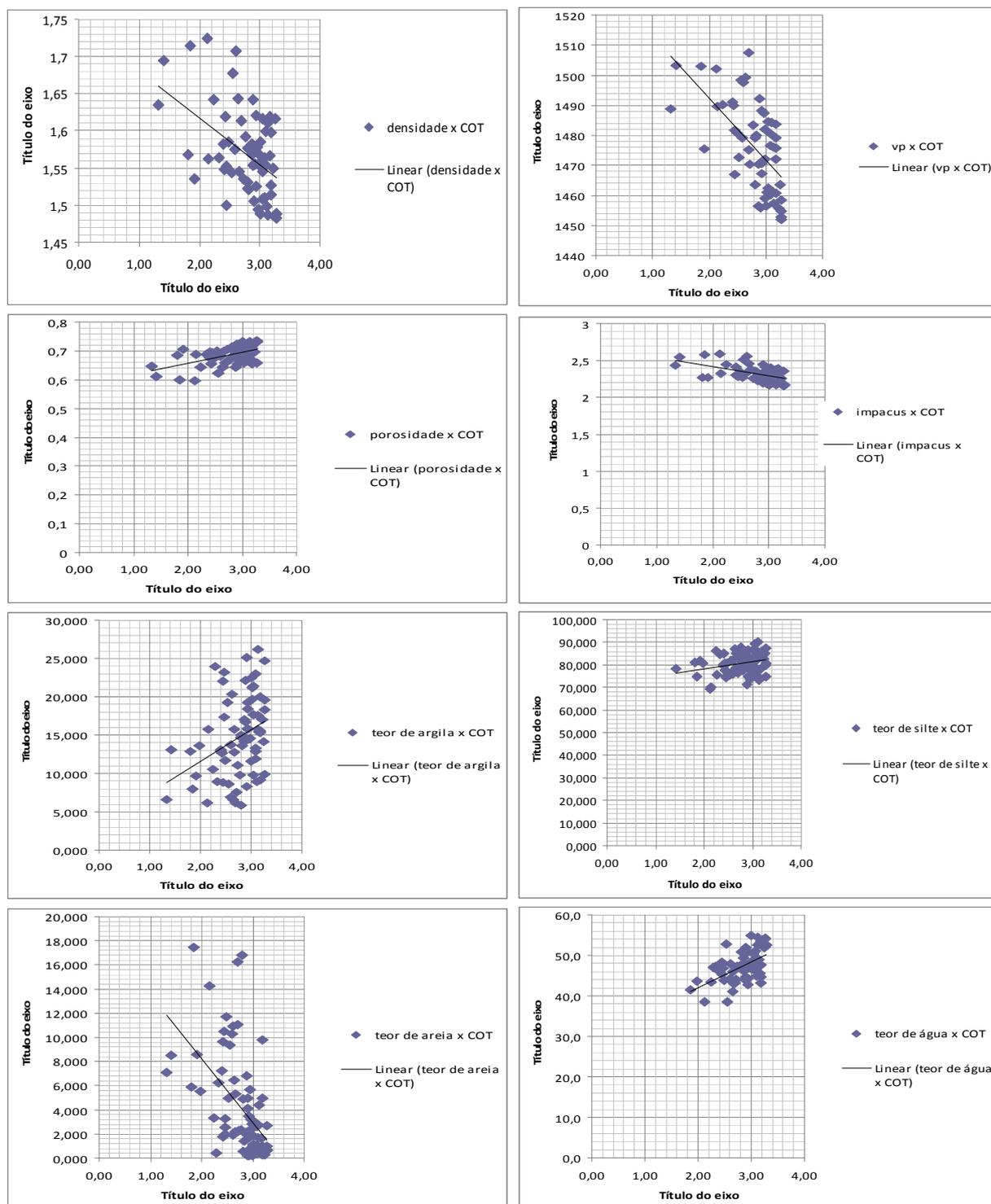


Figura 28: Gráficos de dispersão de COT com densidade, Vp, impedância acústica, porosidade, argila, silte, areia e teor de água. Testemunho CF10-09A.

## 7.1-Testemunho CF 10-15A.

Ao longo deste trabalho foi comentado que o testemunho CF10-15A apresenta correlações inversas em relação aos outros testemunhos. Um resultado desta natureza contraria as discussões travadas sobre o comportamento estatístico das propriedades acústicas dos sedimentos marinhos com COT.

Na busca pelo entendimento desta característica anômala, foi necessário analisar a covariância das variáveis. Avaliando a equação do coeficiente angular (equação 8), pode-se verificar que o numerador equivale à covariância. Ou seja, se o valor da covariância for excessivamente baixo, as correlações também serão baixas e pouco confiáveis.

É nesta questão estatística que reside a contradição aparente das correlações do testemunho CF10-15A. Comparando os valores da covariância deste testemunho com os outros testemunhos percebe-se uma discrepância muito acentuada, sendo seus valores muito mais baixos que dos outros testemunhos. Esta diferença pode ser visualizada nas tabelas feitas para cada testemunho. Segue abaixo uma comparação feita com os valores de covariância de COT com  $V_p$  à título de ilustração.

testemunhos	CF10-01B	CF10-04A	CF10-09A	CF10-15A
Covariância (COT x $V_p$ )	-13,89	-1,04	-3,89	-0,017

Figura 29: Comparação dos valores de covariância COT x  $V_p$  por testemunho.

Portanto, no que diz respeito ao testemunho CF10-15A, dado aos baixos índices dos coeficientes de correlação, não podemos considerar os resultados relevantes para a avaliação do impacto do carbono orgânico total nas propriedades acústicas dos sedimentos superficiais marinhos.

CF10-15A	Vp (m/s)	Den (g/cm <sup>3</sup> )	imp. Acus.	Porosidade (%)	Teor de Água (%)	% Areia	% Silte	% Argila	COT %
Média	1628,770	1,891	3,067	0,498	28,306	62,72203	33,444	3,891	1,013
Desvio Padrão	21,375	0,079	0,136	0,036	2,891	10,68316	9,807	0,897	
Coefficiente Variação	0,013	0,042	0,044	0,072	0,102	0,170	0,293	0,230	
Correlação(COT)	-0,002425335	0,290626612	0,064995598	-0,007	0,269958231	-0,10826	0,102714	0,117262	
Covariância(COT)	-0,017	0,001	0,003	-0,00092	0,264	-0,415	0,103	0,117	

Figura 30: valores estatísticos - testemunho CF10-15A.

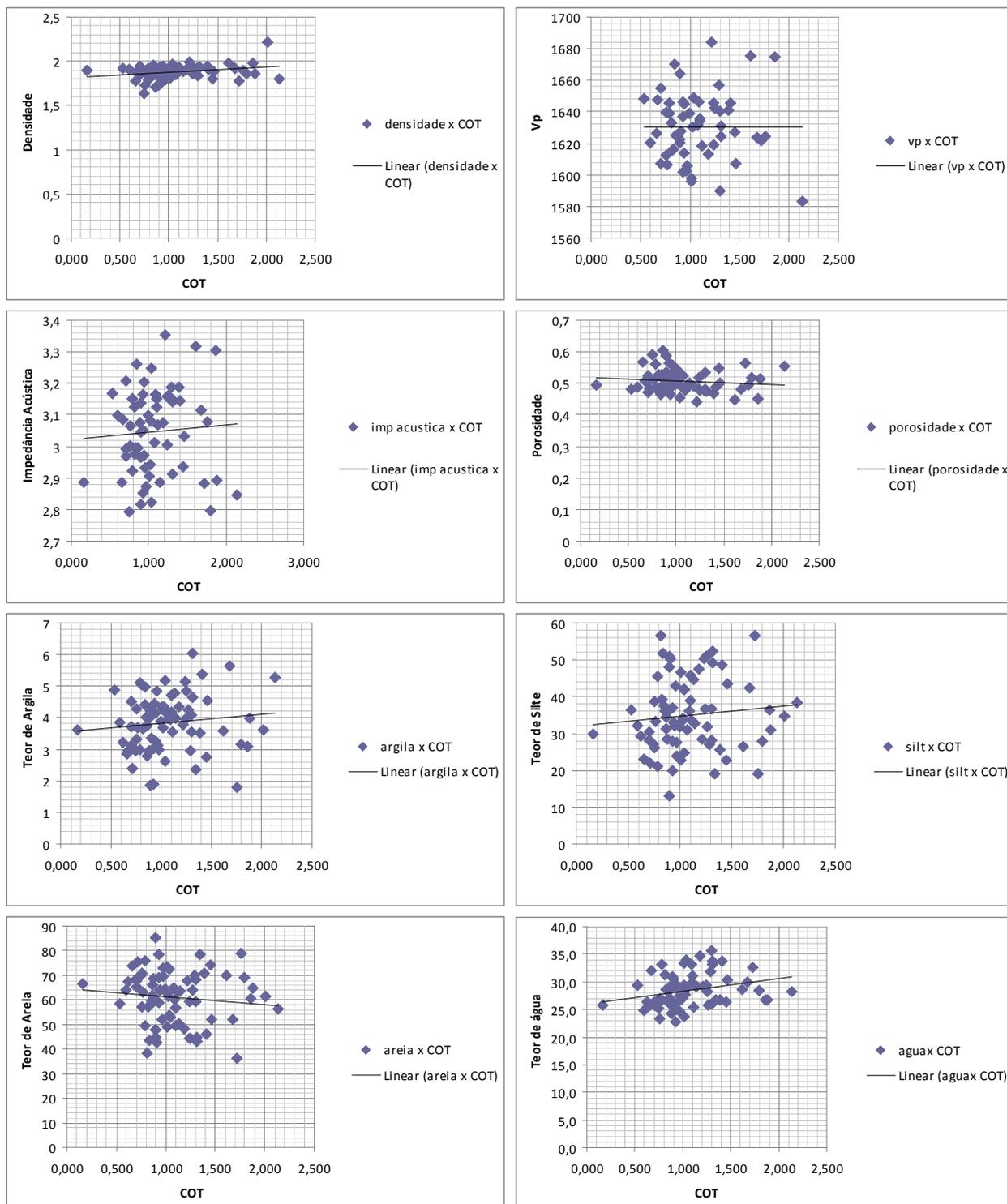


Figura 31: Gráficos de dispersão de COT com densidade, Vp, impedância acústica, porosidade, argila, silte, areia e teor de água. Testemunho CF10-15A.

## 8-Conclusão.

Todas as etapas associadas à metodologia apresentaram-se como capacitadas para identificar as influências que o carbono orgânico total pode causar aos sedimentos superficiais marinhos.

Foram obtidos quatro testemunhos na plataforma continental, próximos ao Alto de Cabo Frio. A partir da perfilagem destes, e com o auxílio da literatura, foi possível analisar com base na estatística descritiva, uma série de parâmetros físicos assim como características sedimentológicas destes testemunhos.

Estas análises indicaram que o COT possui tendências bem definidas com elementos críticos para a redução ou aumento das propriedades acústicas dos sedimentos superficiais marinhos aqui analisados,  $V_p$  e Impedância acústica.

Verificou-se que o carbono orgânico total está intimamente ligado com fatores que reduzem  $V_p$  e impedância acústica, apresentando correlações positivas com porosidade e sedimentos finos. Por outro lado, apresenta-se de maneira inversa com os elementos que marcadamente aumentam as propriedades acústicas dos sedimentos, possuindo correlações negativas com densidade e sedimentos mais grossos como areias. As correlações entre COT x  $V_p$  e COT x Impedância também são negativas.

Portanto, ao resgatarmos o objetivo original de se buscar alguma influência que o carbono orgânico total poderia causar nas propriedades acústicas dos sedimentos marinhos, pode-se afirmar que esta influência reside em uma redução nos valores destas propriedades. Fato verificado com este trabalho de um modo qualitativo.

Para o prosseguimento deste estudo, seria interessante contar com um número de testemunhos maior, assim como uma descrição sedimentológica mais detalhada. Desta maneira, estabelecer uma nova meta que consistiria em buscar uma relação numérica de COT com as atenuações ocorridas nas propriedades acústicas dos sedimentos superficiais marinhos.

## 9-Referências Bibliográficas.

**AKAL, T. CURZI, P.V. & MICHELOZZI, E.** 1984 – *Geoacoustic and geotechnical properties of sediments: a pilot study*. Mem. Soc. Geol. Italiana, Vol. 27.

**ALBUQUERQUE, Ana Luiza S.; BELEM, Andre L.; PORTILHO-RAMOS, Rodrigo C.; MENDOZA, Ursula; BARBOSA, Cátia F.** 2012. Projeto Ressurgência - Processos geoquímicos e oceanográficos no limite entre as Bacias de Campos e Santos: passado e presente. Boletim de Geociências da Petrobras (in press).

**ALVES, E. C., PONZI, V. R.** 1984. Características morfológico sedimentares da plataforma continental e talude superior da margem continental sudeste do Brasil. XXXVIII Cong. Bras. Geologia. 1629-1642

**AYRES, A. & THEILEN, F.** 1998 - *Physical Properties versus Engineering and Environmental Parameters of Marine Sediments*. 60th Conference and Technical Exhibition of the European Association of Geoscientists and Engineers, Leipzig, Germany.

**AYRES NETO, A., MENDES, J. N. T., SOUZA, J. M. G., REDUSINO JR, M., PONTES, R. L. B.** (no prelo) - Geotechnical Influence on the Acoustic Properties of Marine Sediments of the Santos Basin, Brazil. Marine Georesources & Geotechnology.

**CALVERT SE.** Mukherjee S, Morris RJ (1985) Trace metals in fulvic and humic acids from modern organic-rich sediments. *Oceanol Acta* 8: 167–173.

**DUARTE, O. de Oliveira.** 2007. Dicionário Enciclopédico Inglês-Português de Geofísica e Geologia. 3ª ed. Rio de Janeiro: SBGf. 379 pp.

**FALCÃO, Livia Carvalho; AYRES NETO, Arthur.** 2010 - Parâmetros físicos de sedimentos marinhos superficiais da região costeira de Caravelas, Sul da Bahia. *Revista Brasileira de Geofísica*. v. 28(2). pp 279-289.

**FIGUEIREDO JUNIOR, A.G. & TESSLER, M.G.** 2004 – Topografia e composição do substrato marinho da Região Sudeste-Sul do Brasil. Série de Documentos REVIZEE –Score Sul.

**HAMILTON, E. L. & Bachman, R.T.** 1982 – *Sound velocity and related properties of marine sediments*. J. Acoust. Soc. Am., Vol 72, n° 6. P: 1891-1904

**KOWSMANN RO, COSTA MPA, VICALVI MA, COUTINHO MGM & GAMBOA LAP.** 1977. Modelo da sedimentação holocênica na plataforma continental sul brasileira. In: Projeto REMAC – Evolução sedimentar holocênica da plataforma continental e do talude do Sul do Brasil. Série Projeto REMAC, PETROBRAS, CENPES, DINTEP, 2: 7–26.

**MACEDO, H.C.** 2006. Análise da propagação de ondas compressoriais (P) em sedimentos marinhos. Dissertação de Mestrado. Lagemar – UFF.

**MACEDO, Helber Carvalho; FIGUEIREDO JR., Alberto Garcia de and MACHADO, João Carlos.** Propriedades acústicas (velocidade de propagação e coeficiente de atenuação) de sedimentos marinhos coletados nas proximidades da Ilha do Cabo Frio, RJ. *Rev. Bras. Geof.* [online]. 2009, vol.27, n.2, pp. 195-204.

**ORSI, T. H. & DUNN, D. A.** 1991. Correlations between Sound Velocity and Related Properties of Glacio-Marine Sediments: Barents Sea. *Geo-Marine Letters*. Mississippi. p.79-83.

**REIS, A. T.; MAIA, R. M.; GUIZAN, C. S.; GORINI C.; RABINEAU M.; ALVES, E. C.; GUERRA, J. V.; SIMÕES, I. C. V. P.; ARANTES-OLIVEIRAS, R.** Feições morfológicas indicativas de variações eustáticas e de exposição sub-aérea da Plataforma Continental Sul Fluminense durante o Pleistoceno Superior-Holoceno. *Revista Brasileira de Geofísica*. vol. 29(3). 2011.

**RHEINHEIMER, D.; Campos, B.; Giacomini, S. ; Conceição, P.** *Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)*, v. 32, p. 435-440, 2008.

**SCHON, J.H.** 1996. *Physical properties of rocks: fundamentals and principles of petrophysics*. Vol.18 Chapter 3.

**SILVA, R. M.** 2010. Evolução morfotectônica e significado estratigráfico do Alto de Cabo Frio no contexto das Bacias de Campos e Santos. Dissertação de Mestrado. Lagemar-UFF. Niterói.

**SOUZA, J. M. G.** 2010. Caracterização geoacústica de sedimentos superficiais na porção central da Bacia de Santos. Monografia. Lagamar - UFF. Niterói.

**SHUMACHER, BRIAN.** 2002. *Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments.* United States Environmental Protection Agency Environmental Sciences Division National. Las Vegas. EUA.

**SHUMACHER, BRIAN.** 2003. *Surface-sediment sampling technologies.* National Exposure Research Laboratory, Las Vegas. EUA.

**WOODS, R. D.** 1991. *Soil Properties for Shear Wave Propagation.* In: Hovem, J.M. et al. (Eds.), *Shear Wave in Marine Sediments.* P: 29-39.