

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**MIGUEL CESAR GONÇALVES REDUSINO JÚNIOR**

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE  $\text{CaCO}_3$  NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS P  
E NAS CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTOS MARINHOS SUPERFICIAIS**

**NITERÓI**

**2010**

**MIGUEL CESAR GONÇALVES REDUSINO JÚNIOR**

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE  $\text{CaCO}_3$  NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS P  
E NAS CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTOS MARINHOS SUPERFICIAIS**

**Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
ao Programa de Graduação em Geofísica da  
Universidade Federal Fluminense como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Geofísica.**

**Orientador: Prof. Arthur Ayres Neto**

**Niterói**

**2010**

**MIGUEL CESAR GONÇALVES REDUSINO JÚNIOR**

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE  $\text{CaCO}_3$  NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS P  
E NAS CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTOS MARINHOS SUPERFICIAIS**

**Trabalho de conclusão de curso submetido  
ao Programa de Graduação em Geofísica da  
Universidade Federal Fluminense como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Graduado. Área de concentração: Bacharel  
em Geofísica**

**Aprovada em Julho de 2010.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Arthur Ayres Neto - Orientador**

**UFF**

---

**Prof. Eliane da Costa Alves**

**UFF**

---

**Prof. José Antônio Baptista Neto**

**UFF**

**Niterói**

**2010**

## **Agradecimentos**

Primeiramente a Deus, por todos os momentos da minha vida, sejam eles de tristeza e dificuldade que me fazem crescer e aprender, ou momentos de alegria, que me fazem perceber o quanto vale a pena lutar para alcançar meus objetivos;

Aos meus pais, Isabel e Miguel, a quem sou eternamente grato por todo apoio, amor, carinho, educação e inúmeras outras qualidades que me foram passadas;

Ao meu irmão, Guto, pelos momentos de alegria e descontração que me proporciona, apenas pelo fato de estar ao meu lado em todos os momentos.

A toda minha família que é o meu alicerce, e onde busco forças para lutar em todos os momentos de dificuldades.

Aos professores do Lagemar, pelo conhecimento de vida e da profissão nesses cinco anos de graduação, me auxiliando a enxergar essa profissão e buscando incentivar-me do início ao fim. Em especial ao professor Arthur Ayres, pela orientação e incentivo nesta monografia, a professora Eliane da Costa Alves, por todo apoio, prontidão e ajuda durante o curso e a banca examinadora, pelas críticas, sugestões e auxílio neste trabalho;

Aos meus amigos, Juliana Souza e Rodrigo Pontes, pelos momentos divertidos que tivemos no embarque, laboratório e pelo apoio na confecção de nossos trabalhos finais;

Aos meus amigos “irmãos” de turma, que proporcionaram momentos inesquecíveis de descontração, pela amizade, companheirismo e apoio por todos esses cinco anos de faculdade;

Por fim a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

*"Não viva para que sua presença seja notada,  
mas para que a sua falta seja sentida."*

*Bob Marley*

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
3 ÁREA DE ESTUDO.....	3
3.1 Localização.....	3
3.2 Geologia.....	6
3.3 Sedimentologia.....	7
3.4 Carbonatos.....	8
4 CONCEITOS BÁSICOS.....	10
4.1 Ondas Longitudinais (ou compressionais).....	10
4.2 Velocidade de onda compressional.....	10
4.3 Densidade.....	12
4.4 Impedância Acústica.....	13
4.5 Carbonatos.....	15
4.5.1 Aspectos geológicos dos carbonatos.....	15
4.5.2 Deposição carbonática.....	16
4.5.3 Aspectos Geotécnicos dos sedimentos carbonáticos.....	17
4.6 Susceptibilidade Magnética.....	18
4.7 Resistência ao Cisalhamento.....	19
4.8 Regressões Lineares.....	20

5	METODOLOGIA .....	22
5.1	Aquisição dos Dados .....	23
5.2	Ensaio realizado.....	25
5.2.1	Ensaio geofísicos.....	25
5.2.2	Granulometria .....	27
5.2.3	Determinação do Teor de Carbonato.....	27
5.2.4	Ensaio Geotécnicos .....	28
6	RESULTADOS.....	30
6.1	Granulometria .....	30
6.2	Velocidade de onda compressional .....	35
6.3	Densidade .....	38
6.4	Susceptibilidade Magnética .....	40
6.5	Impedância Acústica.....	41
6.6	Porosidade .....	42
6.7	Teor de Carbonato.....	45
6.8	Resistencia ao Cisalhamento.....	46
6.9	Ensaio de Carga.....	48
7	DISCUSSÃO.....	51
7.1	Profundidade X Teor de Carbonato .....	51
7.2	Granulometria X Teor de Carbonato .....	53
7.3	Vp X Teor de Carbonato .....	53
7.4	Densidade X Teor de Carbonato .....	55
7.5	Susceptibilidade Magnética X Teor de Carbonato .....	56

7.6	Impedância Acústica X Teor de Carbonato.....	57
7.7	Porosidade X Teor de Carbonato .....	59
7.8	Ensaio de Carga X Teor de Carbonato.....	61
7.9	Resistência ao Cisalhamento X Teor de Carbonato.....	63
8	CONCLUSÃO .....	65
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
10	APÊNDICE I.....	73



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da área de estudo apresentado o levantamento e os pontos de amostragem .....	5
Figura 2: Mapa de composição dos sedimentos conforme a classificação Larssonneur.....	9
Figura 3: Mapa de composição dos sedimentos conforme a classificação Larssonneur.....	9
Figura 4: Propagação de uma onda compressional.....	10
Figura 5: Amostrador do tipo <i>Box Corer</i> .....	24
Figura 6: Box Corer contendo amostra do fundo marinho.....	24
Figura 7: Equipamento Multi Sensor Core Logger.....	25
Figura 8: Sistema de medição de Vp no MSCL. ....	25
Figura 9: À esquerda :Torvane de bolso. À direita: Penetrometro de mão de precisão .....	29
Figura 10: Imagem do testemunho T1, com a distribuição das granulometrias presentes na amostra.....	31
Figura 11: Imagem do testemunho T2, com a distribuição das granulometrias presentes na amostra em função da profundidade.....	32
Figura 12: Imagem do testemunho T3, com a distribuição das granulometrias presentes na amostra.....	33
Figura 13: Mapa da área de estudo com valores médios de granulometria dos três testemunhos. ....	34
Figura 14: Perfis de velocidade de onda P dos três testemunhos.....	36
Figura 15: Mapa da área de estudo com valores médios de velocidade de onda P dos tres testemunhos. ....	37
Figura 16: Perfis de densidade dos tres testemunhos.....	38
Figura 17: Mapa da área de estudo com valores médios de densidade dos tres testemunhos. ....	39
Figura 18: Perfis de susceptibilidade magnética dos três testemunhos.....	40
Figura 19: Mapa da área de estudo com valores médios de susceptibilidade magnética dos três testemunhos. ....	41
Figura 20: Perfis de impedância acústica dos tres testemunhos.....	42
Figura 21: Mapa da área de estudo com valores médios de impedância acústica dos três testemunhos. ....	43
Figura 22: Perfis de porosidade dos tres testemunhos. ....	44
Figura 23: Mapa da área de estudo com valores médios de porosidade dos três testemunhos. ....	45

Figura 24: Mapa da área de estudo com os valores médios do teor de carbonato nos três pontos de amostragem.....	46
Figura 25: Perfis de resistência ao cisalhamento dos três testemunhos. ....	47
Figura 26: Mapa da área de estudo com valores médios de resistência ao cisalhamento dos tres testemunhos. ....	48
Figura 27: Perfis de ensaio de carga dos três testemunhos.....	49
Figura 28: Mapa da área de estudo dos valores médios de ensaio de carga dos três testemunhos. ....	50
Figura 29: Gráfico de correlação entre profundidade e Teor de carbonato presentes nas amostras T1 e T2.....	52
Figura 30: Relação entre a profundidade e o teor de carbonatos no testemunho T3.....	52
Figura 31: Gráfico de correlação entre Velocidade de ondas P e Teor de carbonato das amostras T1 e T2.....	53
Figura 32: Distribuição do Teor de Carbonatos pela Velocidade de ondas P no testemunho T3.....	54
Figura 33: Gráfico de correlação entre densidade e teor de carbonato dos testemunho T1 e T2.....	55
Figura 34: Gráfico de correlação entre Densidade e teor de carbonato no testemunho T3..	55
Figura 35: Gráfico de correlação entre a Susceptibilidade Magnética e o teor de Carbonato das amostras T1 e T2.....	56
Figura 36: Gráfico de correlação entre a Susceptibilidade Magnética e o teor de Carbonato do testemunho T3.....	57
Figura 37: Gráfico de correlação entre a impedância acústica e o teor de carbonato das amostras T1 e T2.....	58
Figura 38: Gráfico de correlação entre a impedância acústica e o teor de carbonato do testemunho T3.....	59
Figura 39: Gráfico de correlação entre a porosidade e o teor de carbonato das amostras T1 e T2.....	59
Figura 40: Gráfico de correlação entre a porosidade e o teor de carbonato do testemunho T1.....	60

Figura 41: Gráfico de correlação entre o ensaio de carga e o Teor de Carbonato do testemunho T1.....	61
Figura 42: Gráfico de correlação entre o ensaio de Carga e o Teor de carbonato do testemunho T2.....	61
Figura 43: Gráfico de correlação entre o ensaio de carga e o teor de carbonato do testemunho T3.....	62
Figura 44: Gráfico de correlação entre os valores de Resistência ao Cisalhamento e teor de carbonato do testemunho T1.....	63
Figura 45: Gráfico de correlação entre a resistência ao cisalhamento e o teor de carbonato do testemunho T2.....	63
Figura 46: Gráfico de correlação entre o torvane e o teor de carbonato do testemunho T3..	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Localização e profundidade dos testemunhos coletados.....	5
Tabela 2: Grupos de domínios morfológicos associados aos valores médios dos parâmetros físicos encontrados nos oito testemunhos. ....	73

## RESUMO

A fim de se conseguir um melhor e maior detalhamento do fundo marinho, são desenvolvidas novas metodologias para a obtenção do maior número de informações possíveis, buscando detalhar as relações entre as propriedades físicas e os parâmetros geocústicos dos sedimentos marinhos superficiais. Neste trabalho busca-se verificar a influência do teor de carbonato nos parâmetros físicos e geotécnicos estudados (granulometria, velocidade de onda P, densidade, susceptibilidade magnética, impedância acústica, porosidade, resistência ao cisalhamento e ensaio de carga). Foram utilizados 3 testemunhos, adquiridos na porção central da Bacia de Santos, em províncias morfológicas diferentes, a partir de onde foram realizados ensaios e testes para se determinar essa influência. Estes testemunhos foram divididos de 2 em 2 centímetros, a fim de se buscar uma correlação detalhada em todos os testemunhos. Para os ensaios geofísicos foi utilizado o equipamento Multi Sensor Core Logger (MSCL), que determinou os valores de ondas P, susceptibilidade magnética, impedância acústica, densidade e porosidade dos sedimentos. Além disso, para os ensaios geotécnicos (Ensaio de carga e Resistência ao cisalhamento) foram utilizados o Torvane e o Penetrometro de bolso. Para se determinar o teor de carbonato presente nas amostras, utilizou-se a metodologia de consumo por HCl. Verificou-se que no testemunho localizado na plataforma continental interna, que foi o mais raso a ser coletado neste estudo (T3 = 70m de profundidade) foram encontrados os maiores valores médios de teor de carbonato, granulometria, Velocidade de ondas P, densidade, impedância acústica, além do maior valor de ensaio de carga. No testemunho T1 que representa a amostragem mais profunda da pesquisa, localizado no talude inferior a 2104m de profundidade, foi encontrado o maior valor de porosidade. Já no testemunho T2, localizado no talude superior, foi encontrado o maior valor médio de susceptibilidade magnética, além do menor valor de concentração de carbonatos. Com a obtenção desses resultados, foi possível fazer uma análise com posterior divisão entre os testemunhos, para uma melhor classificação de acordo com os valores e similaridades dos parâmetros apresentados. Portanto, através da análise dos parâmetros físicos e a correlação com os dados de teor de carbonato, cria-se mais ferramentas para a construção de uma modelagem geocústica do fundo marinho, com a resposta e o comportamento dos sedimentos marinhos superficiais saturados.

## ABSTRACT

In order to achieve a better and more detail of the seabed, are developed new methodologies for obtaining much information as possible, seeking to detail the relations between physical properties and geoacoustic parameters in shallow marine sediments. This work seeks to investigate the influence of the carbonate content in the physical parameters and geotechnical studies (size, P wave velocity, density, magnetic susceptibility, acoustic impedance, porosity, shear strength and loading test). We used three witnesses, acquired in the central portion of the Santos Basin, in different morphological provinces, from where tests were performed and tests to determine this influence. These testimonies were divided into 2 by 2 cm, in order to get a detailed correlation in all witnesses. For the tests we used geophysical equipment Multi Sensor Core Logger (MSCI), which determined the values of P waves, magnetic susceptibility, acoustic impedance, density and porosity of the sediments. In addition, for the geotechnical tests (test load and shear strength) were used Torvane and pocket penetrometer. To determine the level of carbonate in the samples, we used the method of consumption by HCl. It was found that the testimony located on the inner continental shelf, which was the shallowest being collected in this study (T3 = 70m deep) were found higher mean values of the carbonate content, grain size, P-wave velocity, density, impedance acoustics, in addition to the higher value of loading test. In testimony T1 representing the deeper sampling of the research, located on the slope below 2104m depth, we found higher value of porosity. In the testimony T2, located in the upper slope, found the highest average value of magnetic susceptibility, and the lowest concentration of carbonates. Through these results it was possible to do an analysis with subsequent division of the testimony, for a better classification according to the values and similarities of the parameters presented. Therefore, through the analysis of physical parameters and correlation with data from the carbonate content, it creates more tools to build a modeling geoacoustic seabed, with the response and behavior of marine sediment surface saturated.

## 1 - INTRODUÇÃO

Uma grande perspectiva por descobertas de mais reservas petrolíferas, tem avançado em direção às regiões de águas profundas e ultra-profundas, distanciando - se, cada vez mais, da costa.

À medida que novos conceitos são incorporados ao acervo de dados geológicos e geofísicos, estudam-se as melhores e mais seguras formas para o escoamento da produção de óleo e gás, originados dos poços *offshore*, para processamento em instalações onshore.

Uma das formas para o escoamento dessa produção, cuja prática tem sido cada vez mais utilizada, é aquela que se faz a partir de um sistema constituído por uma composição de dutos submarinos rígidos e flexíveis. Esse sistema de transporte dutoviário possui inúmeros equipamentos envolvidos no processo, tendo como exemplo, a tubulação propriamente dita e válvulas, sendo este conjunto, diretamente assentado no fundo do oceano.

No projeto para a construção de dutos submarinos, muitas variáveis devem ser levadas em consideração, já que estes devem ser adequados a conduzir fluidos por longas distâncias, provenientes de reservatórios com altas temperaturas e pressões, além de sofrerem esforços oriundos de correntes marinhas e conseqüente erosão dos sedimentos de fundo, resultando em vãos livres e taludes, relativamente acentuados, em pequenas porções do oceano.

Os riscos geológicos apresentados com relação aos dutos têm grande importância neste estudo, pois os mesmos devem estar em consonância com as atuais questões ambientais e de engenharia submarina; sendo que estas demandam uma avaliação mais quantitativa dos riscos geológicos associados à condição de estabilidade das estruturas fixas submarinas, visando o aumento do nível de confiabilidade destes projetos.

Por conta disso, busca-se detalhar as características geológicas / geotécnicas dos primeiros 50 a 100 cm abaixo do piso marinho, relacionado ao diâmetro nominal do duto a

ser instalado. São utilizados para este fim, métodos geofísicos acústicos (altas frequências) e dados de testemunhos geológicos.

A utilização de modelos de caracterização do fundo marinho tem por finalidade mapear com maior precisão este leito, sem gerar custos excessivos e desperdício de tempo. Para isso, diversos modelos geoacústicos vêm sendo estudados e desenvolvidos com o objetivo de se obter o maior número de informações possíveis, de modo a detalhar as relações entre as propriedades físicas e os parâmetros geoacústicos.

De forma geral, estes modelos são importantes instrumentos que irão permitir uma avaliação sistemática dos valores das propriedades físicas de um determinado meio marinho. Sendo utilizadas para este fim, metodologias e ferramentas que auxiliam o aperfeiçoamento da modelagem geoacústica do ambiente marinho; como, por exemplo, o estudo das relações das propriedades acústicas do meio, através da velocidade da onda P e dos parâmetros sedimentológicos (granulometria, densidade, porosidade, susceptibilidade magnética, entre outros) que compõem o fundo marinho e suas camadas subseqüentes (Hamilton 1980, Richardson et al. 1997 e 2002 e Buckingham 2005).

Os estudos sobre a classificação geoacústica dos sedimentos de fundo vêm sendo realizados desde a década de 80. Hamilton (1980) e Hamilton & Bachman (1982) realizaram trabalhos pioneiros na área de correlação entre parâmetros físicos e geológicos de sedimentos marinhos superficiais. Akal et al. (1984) realizaram trabalho que estudou a relação entre modelos geoacústicos (velocidades de ondas P e S) e propriedades como granulometria, densidade, teor de umidade e índice de vazios. Posteriormente, Breitzke & Spiess (1991) verificaram estas relações em sedimentos de mar profundo. Estudos mais específicos entre propriedades acústicas de sedimentos marinhos superficiais e propriedades geotécnicas foram executados por Ayres & Theilen (1997a, 1997b, 1998, 1999, 2001) e Theilen et al. (1997). Ayres e Silva (2006) e Solano et al. (2007) mostraram como a integração entre geofísica e geotecnia é vital em projetos para instalação de plataformas, dutos e estruturas fixas de produção e exploração de óleo e gás no fundo marinho.



## **2 - OBJETIVOS**

O presente trabalho teve por objetivo a realização de medições de parâmetros físicos e ensaios geotécnicos e geológicos, em testemunhos de sedimentos marinhos superficiais a fim de se verificar a influência do teor de  $\text{CaCO}_3$  nas propriedades físicas dos sedimentos coletados, na porção central da Bacia de Santos. Utilizou-se na perfilagem geofísica, particularmente, velocidade de ondas P ( $V_p$ ), susceptibilidade magnética e impedância acústica. Determinação da densidade, porosidade, teor de umidade, resistência ao cisalhamento ( $S_u$ ) e ensaio de carregamento foram os procedimentos realizados.

Com a combinação dessas informações, foi possível quantificar e qualificar esses parâmetros como característicos dos sedimentos marinhos superficiais, melhorando assim, a resolução da modelagem geoacústica. Além disso, os resultados obtidos promoverão uma avaliação mais precisa dos riscos geológicos, associados à instalação de estruturas submarinas de exploração, produção e transporte de óleo e gás.

## **3 - ÁREA DE ESTUDO**

Com grande destaque no cenário nacional, devido à sua importância em termos de hidrocarbonetos, a margem continental brasileira vem sendo alvo de diversas pesquisas relacionadas à descoberta, produção e transporte de óleo e gás. A área geográfica pesquisada neste trabalho concentra-se na porção central de uma das bacias sedimentares mais importantes do país, a Bacia de Santos.

### **3.1 - Localização**

A Bacia de Santos é uma bacia de margem passiva gerada durante o Neocomiano, associado com o evento de ruptura do Supercontinente Gondwana (De Mio, Chang & Corrêa, 2005). Ocupa uma área com cerca de 350.000  $\text{km}^2$  e está localizada na margem

continental sudeste-sul brasileira, entre os paralelos 23° e 28° Sul. Seu limite norte com a bacia de Campos é marcado pelo Alto de Cabo Frio, enquanto o Alto de Florianópolis marca o limite sul com a bacia de Pelotas (modificado de Pereira & Feijó, 1994). O limite oeste é dado pelas serras do Mar e da Mantiqueira e pelo maciço da Carioca (Macedo, 1990; Mesquita, 1995). Ao leste, a bacia de Santos está em continuidade estrutural e estratigráfica com o platô de São Paulo (Macedo, 1990). O limite batimétrico da bacia de Santos é considerado, atualmente, em cerca de 3 000 m de lâmina d'água.

Essa bacia possui uma espessura sedimentar estimada em oito mil metros podendo alcançar treze mil metros nos principais depocentros (Chang & Kowsmann, 1984 *apud* Macedo, 1990).

A aquisição de dados para esta pesquisa foi realizada na região de plataforma e talude continental (entre 50 m e 2200 m de profundidade) na Bacia de Santos (figura 1). Dessa forma, foi possível investigar os diferentes tipos de sedimentos encontrados nestas duas províncias morfológicas marinhas, enriquecendo os resultados finais da pesquisa.

A realização da aquisição de dados ocorreu entre os dias 12 e 20 de maio de 2009, com o embarque para o projeto da empresa Repsol YFP, em parceria com o Departamento de Geologia Marinha (Lagemar – UFF). Este trabalho faz parte de todo o projeto realizado pela referida empresa, cuja finalidade é definir diretrizes para a colocação de dutos submarinos na área de estudo. Foram coletados para esta pesquisa 16 testemunhos, utilizados nos ensaios geofísicos/geológicos e geotécnicos, além da verificação do teor de carbonato. No entanto, para o presente trabalho foram utilizados apenas 3 testemunhos para verificação de seus percentuais de carbonato e conseqüente correlação com os demais parâmetros físicos dos sedimentos.

Os pontos de coleta foram estrategicamente escolhidos por se tratarem de diferentes províncias morfológicas (Talude inferior, Talude e Plataforma continental interna).

A figura 1 e tabela 1 apresentam a localização da área de estudo e também (coordenadas geográficas e profundidade) dos pontos amostrados.

Pontos Amostrados	Latitude (S)	Longitude (W)	Profundidade (m)
S1	25°06,835'	043°17,803'	2104
S2	24°28,653'	044°16,386'	415
S3	24°01,109'	045°11,674'	70
S4	24°58,029'	044°43,925'	350
S5	25°13,527'	044°59,627'	170
S6	25°21,992'	044°15,144'	1930
S7	24°11,567'	43°36,076'	200
S8	23°26,121'	43°08,194'	115

Tabela 1: Localização (coordenadas geográficas) e profundidade dos testemunhos coletados. Os pontos em amarelo, foram utilizados neste trabalho para determinação do teor de carbonato das amostras.

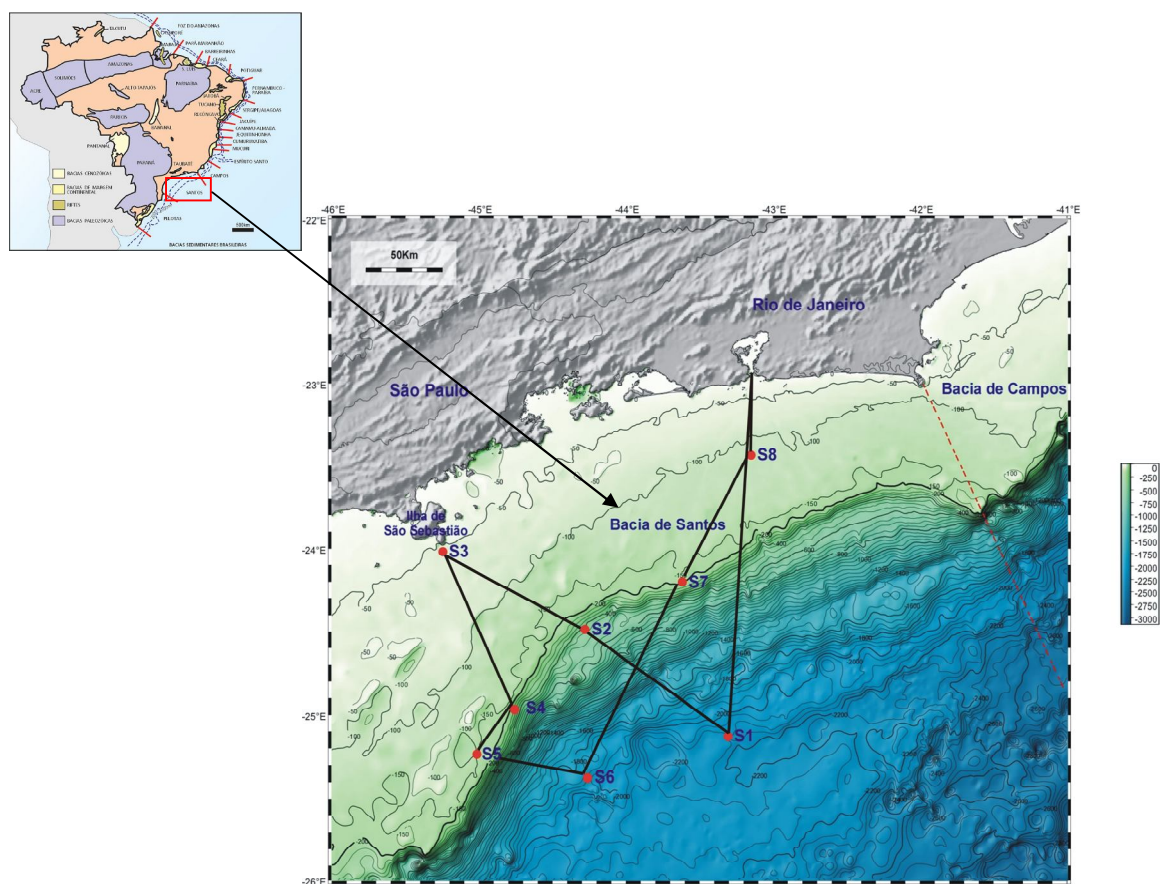


Figura 1: Mapa regional da Baía de Santos, à esquerda (Cainelli e Morhiak, 1999) e mapa da área de estudo produzido através do programa GMT, utilizando dados de posicionamento do GEBCO, apresentando os pontos de coleta de dados geológicos e diretrizes do levantamento realizado.

(Souza, J.M.G., 2009).

### 3.2 - Geologia

A Bacia de Santos foi formada a partir de processos de rifteamento durante a separação afro-americana, no Mesozóico. A acumulação de sedimentos ocorreu inicialmente em condições flúvio - lacustres, passando posteriormente por estágio de bacia evaporítica e evoluindo para uma bacia de margem passiva (Chang, 2008).

Sua plataforma continental apresenta uma largura máxima de 250 km no embaçamento São Paulo (Ilha de São Sebastião, SP ao Cabo de Santa Marta, SC) e a sua quebra está em média em torno da isóbata de 200m.

### 3.3 - Sedimentologia

A cobertura sedimentar dessa região possui dois domínios sedimentares bem definidos (*Remac*, 1979, Revizee, 2004): um terrígeno, de plataforma interna e média, e outro carbonático, de plataforma externa. Entre Cabo Frio e o Arroio Chuí, as fácies sedimentares são bastante homogêneas e quase contínuas, sendo representadas pela sedimentação terrígena, presentes na plataforma interna.

De acordo com o Revizee (2004), as areias finas e muito finas estão localizadas na plataforma média e interna e predominam ao sul da cidade do Rio de Janeiro. Já, as lamas predominam na área ao sul de Cabo Frio, principalmente a partir dos 100m de profundidade, sendo pontilhadas em alguns locais por faixas de sedimentos de granulometria de areia média e grossa ao longo do talude.

Desde o sul da cidade do Rio Grande até o norte de Santos, há uma ampla distribuição de areias, bolsões de areia lamosa e de lama arenosa, que ocorrem na plataforma continental média na porção sul e nas proximidades da Baía de Ilha Grande (Figueiredo Jr & Tessler, 2004). Na plataforma continental interna e média predominam as lamas, em toda sua extensão, desde a Ilha de São Sebastião até a cidade de Rio Grande.

As areias finas e muito finas estão localizadas na plataforma média e interna e predominam ao sul da cidade do Rio de Janeiro.

Segundo Rocha *et al.* (1975), os depósitos encontrados na plataforma média correspondem às extensas fácies lamosas, com predominância de silte e argila, são associados aos depósitos lagunares costeiros, principalmente entre Santos e o Arroio Chuí. Esse ambiente sedimentar foi caracterizado através da variação litológica lateral das fácies (areia/lama/areia) e em aspectos diagenéticos locais do corpo de lama. Um pouco ao sul de Santos, as lamas aproximam-se do talude continental, enquanto ao norte de Florianópolis avançam até a plataforma interna. A ocorrência dessas lamas já não é tão contínua entre Santos e Cabo Frio, no entanto, ainda mantêm o caráter de unidade faciológica destacada.

### **3.4 - Carbonatos**

As principais fácies dos sedimentos carbonáticos, entre Cabo Frio e Santos, são areias de recifes de algas, foraminíferos bentônicos e misturas de moluscos com briozoários e com foraminíferos bentônicos. Na parte norte de Santos, predominam composições ricas em recifes de algas e briozoários, diminuindo a contribuição desses tipos de carbonatos em direção ao sul (Kempf, 1972; Rocha *et al.*, 1975; Vicalvi & Milliman, 1977). Kempf (1972) explica esta diferenciação como os efeitos de influência terrígena mais atuante ao sul de Santos, despercebida a partir de Cabo Frio. Na plataforma externa, encontram-se componentes de fácies carbonáticas em mau estado de preservação, devido a uma fase de retrabalhamento em ambiente de alta energia (Kowsmann & Costa, 1974; Rocha *et al.*, 1975).

De acordo com os percentuais de carbonatos presentes nos sedimentos marinhos, Larsonneur (1977), posteriormente modificada por Dias (1996), criou uma classificação que determinou o tipo de sedimento, sendo divididos em quatro classes distintas.

São elas:

Litoclásticos – Até 30% de carbonatos

Litobioclásticos – 30 a 50 %

Biolitoclásticos – 50 a 70 %

Bioclásticos – mais de 70 % de carbonatos

Uma análise feita através de estudos do projeto REVIZEE, seguindo a classificação de Larssonneur (1977), indica que os sedimentos litoclásticos predominam na região ao sul do Estado de São Paulo, enquanto que os bioclásticos aumentam de São Paulo para norte (figs. 2 e 3). Os sedimentos bioclásticos concentram-se mais nas partes profundas, enquanto os litoclásticos estão nas áreas mais rasas. Os bioclásticos apresentam faixas menores e isoladas ao sul, enquanto que para norte, as faixas são maiores e contínuas.

A análise dos mapas de composição dos sedimentos indica que a plataforma continental ao sul da ilha de São Sebastião, é caracterizada por apresentar sedimentos com percentual de carbonato inferior a 30%, passando a sedimentos biolitoclásticos nas partes mais profundas da plataforma continental externa, onde se encontram depositados intercalados a sedimentos litobioclásticos e bioclásticos, até as imediações da Lagoa dos Patos-RS. (Figueiredo Jr & Tessler, 2004).

Ao norte da Ilha de São Sebastião, os sedimentos bioclásticos apresentam-se distribuídos em faixas maiores e mais contínuas, recobrimdo não só a plataforma externa, mas estendendo-se em direção à plataforma continental média e interna.

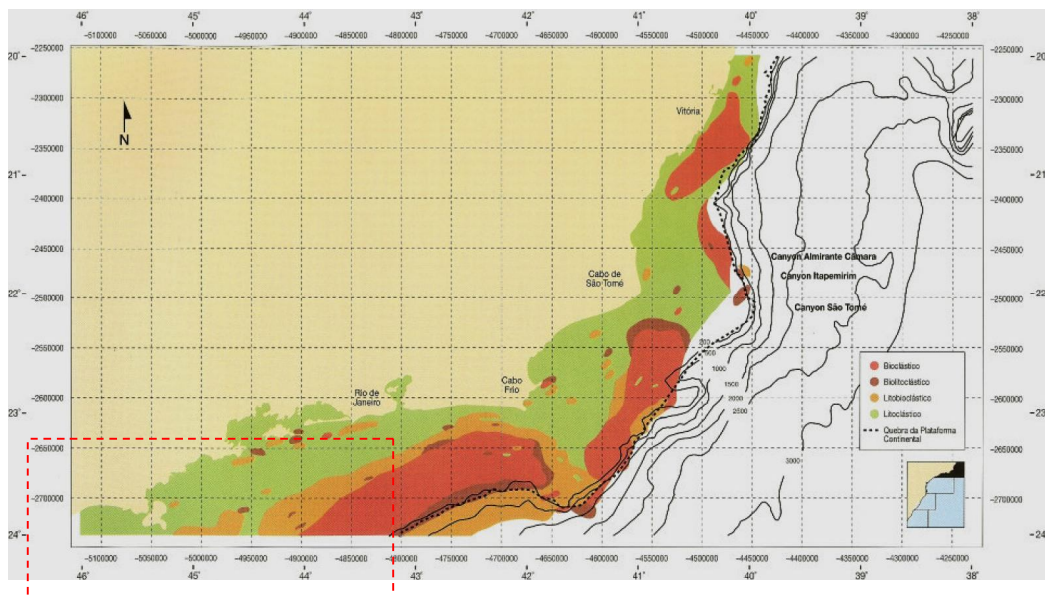


Figura 2: Mapa de composição dos sedimentos conforme a classificação Larssonneur. Área destacada em vermelho indica área de estudo desta pesquisa. Fonte: REVIZZE, 2004.

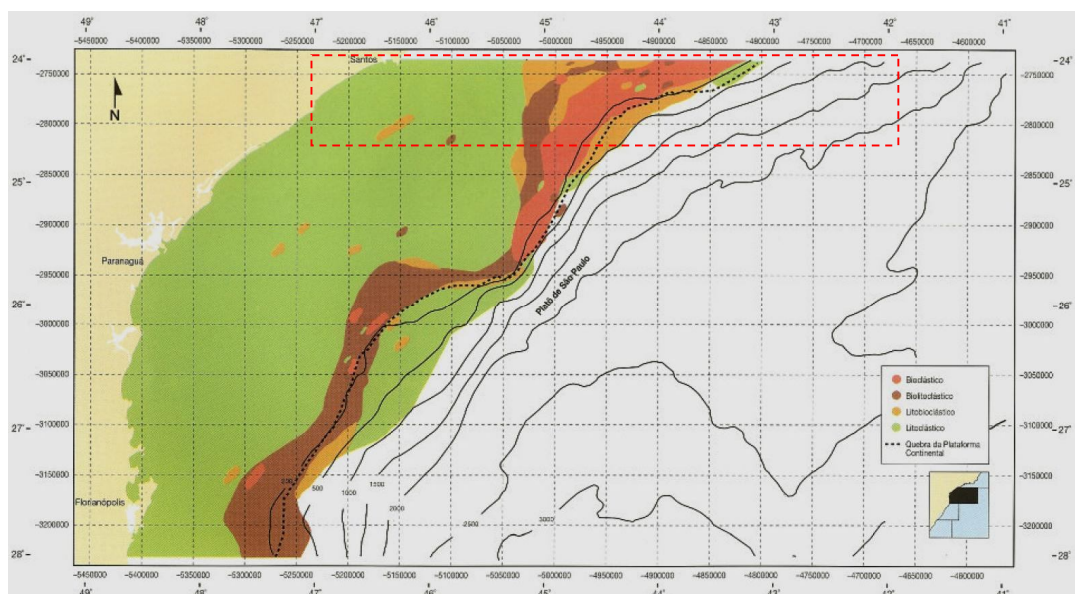


Figura 3: Mapa de composição dos sedimentos conforme a classificação Larssonneur (1977). Área destacada em vermelho indica área de estudo desta pesquisa. Fonte: REVIZZE, 2004.

## 4 - CONCEITOS BÁSICOS

### 4.1 - Ondas longitudinais (ou compressionais)

Para compreender este tipo de onda, deve-se considerar o sistema de eixos cartesianos, onde o eixo  $x$  corresponde à direção de propagação da onda. Neste eixo, as partículas do meio descrevem um movimento vibratório de vai e vem, paralelas à direção de propagação da onda e corresponde a sucessivas compressões e dilatações do meio por onde passam. É a propagação deste movimento, em determinada direção, que define a onda compressional. As ondas longitudinais, podendo assim também ser classificadas, são as primeiras a serem registradas quando ocorre um sismo (seja ele natural, ou provocado por fonte artificial), por isso, são chamadas ondas primárias ou simplesmente ondas P. Além disso, as ondas P propagam-se tanto em meios sólidos quanto em fluidos, pois todos esses meios são compressíveis. (Fig. 4)

### 4.2 - Velocidade de Onda Compressional

Portanto, Define-se Velocidade de onda compressional ( $V_p$ ), como a velocidade com que a onda longitudinal viaja pelo meio a ser percorrido, seja ele sólido ou líquido.

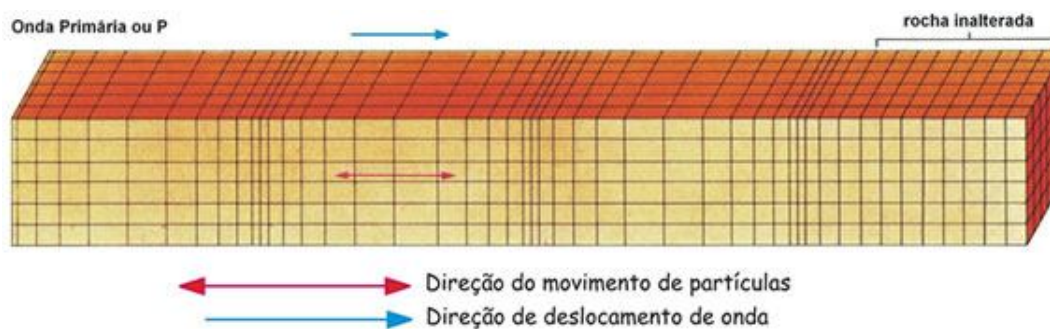


Figura 4: Movimento de Propagação de uma onda compressional.

Fonte: Observatório Sismológico UNB.



A velocidade de propagação de ondas acústicas em um meio qualquer é função de suas constantes elásticas como módulo de Young (E), módulo de Poisson ( $\nu$ ), módulo de rigidez ( $\mu$ ) e módulo de compressão (k). No caso da onda compressional, A propagação de  $V_p$  depende de duas constantes elásticas: módulo de rigidez ( $\mu$ ) e compressão (k).

Estas constantes variam de acordo com o material e relacionam a quantidade de deformação sofrida por um material em função da força exercida sobre ele.

De acordo com Akal (1984), entende-se por módulo de rigidez a elasticidade longitudinal do material, e o módulo de compressão correlaciona à redução do volume do corpo sujeito à pressão hidrostática em três dimensões.

De acordo com esses parâmetros, pode-se definir  $V_p$  através da seguinte equação:

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}, \text{ Onde } \rho \text{ é a densidade.}$$

módulo de rigidez ( $\mu$ ) e módulo de compressão (k).

A razão física para a fórmula de  $V_p$  é que a propagação da onda P não depende de uma simples compressão, mas da combinação de compressão e cisalhamento. (Ayres Neto, 2001).

Na água do mar as ondas P se propagam com uma velocidade em torno de 1500 m/s. A variação da velocidade na água do mar depende basicamente da salinidade, não sofrendo muita influência da pressão e da temperatura. A velocidade de propagação nos sedimentos, por sua vez, depende basicamente das duas constantes relacionadas acima, os módulos de compressão e rigidez. De acordo com Woods (1991), os fatores que controlam estes parâmetros em sedimentos marinhos são porosidade, pressão de confinamento, grau de saturação e temperatura. Os sedimentos marinhos inconsolidados são materiais com mais de uma fase (sólida = grãos, líquida = fluido intersticial).

Os parâmetros citados anteriormente aplicam-se também na propagação de  $V_p$  em sedimentos marinhos saturados, uma vez que por definição, a velocidade de onda compressional foi admitida para meios homogêneos e isotrópicos (Ayres Neto, 1998). De uma maneira geral, as propriedades elásticas dependem desses parâmetros, já que os sedimentos são compostos de materiais diferentes.

Os sedimentos marinhos estão misturados à água e também podem estar em meio à grãos minerais, ar e gás. Cada um destes materiais apresentará propriedades elásticas distintas e, portanto, a propagação neste tipo de meio será influenciada pelo conjunto de todas as propriedades dos diferentes tipos de materiais (Ayres Neto, 1998). Trabalhos realizados por Hamilton e Bachman (1982) descrevem a influência de fatores geológicos, como a densidade, porosidade e pressão de confinamento, na velocidade de ondas compressãois em determinados tipos de sedimentos. Em geral, existe uma tendência de aumento de  $V_p$  com a diminuição da porosidade e um aumento da densidade (Ayres Neto, 1998).

Alguns autores afirmam que a propagação de ondas compressãois em materiais porosos é basicamente controlada pela compressibilidade do fluido intersticial (Hamilton e Bachman, 1982; Freund, 1992; Ayres Neto, 1998).

### 4.3 - Densidade

Segundo Schon (1996), a densidade  $\tilde{n}$  de um material corresponde à razão da massa  $m$  de todas as partículas de um material pelo volume total  $V$  que as mesmas ocupam. É expressa através da seguinte equação:

$$\rho = m/V$$

Para definir a densidade de um material de n constituintes, Schon (1996) descreve que:

$$\rho = \sum_{i=1}^n \left( \frac{V_i}{V} \right) \cdot \rho_i,$$

Onde  $\rho_i$  é a densidade,  $V_i$  é o volume do componente  $i$  e  $\left( \frac{V_i}{V} \right)$  é a fração do volume do componente  $i$ .

Os fatores que controlam a densidade dos sedimentos são: a composição mineral, porosidade e condições de saturação (conteúdo de fluidos nos poros). Há uma forte correlação entre a densidade e porosidade. Com o aumento da densidade, diminui – se a porosidade e vice-versa. No entanto, a correlação exata é controlada pela densidade da matriz e do fluido, presentes no espaço poroso (Schon, 1996).

Processos diagenéticos podem influenciar no aumento da densidade, reduzindo os espaços porosos, através da cimentação ou por processos de compactação (Schon, 1996).

#### 4.4 - Impedância Acústica

O som é uma onda mecânica e transporta apenas energia mecânica. Todo meio material elástico oferece certa "resistência" à transmissão de ondas sonoras: é a chamada impedância. A impedância acústica de um sistema vibratório ou meio de propagação, é a oposição que este meio oferece à passagem da onda sonora, em função de sua frequência e velocidade.

A impedância acústica (Z) é composta por duas grandezas: a resistência e a reatância. As vibrações produzidas por uma onda sonora não continuam indefinidamente, pois são amortecidas pela resistência que o meio material lhes oferece. Essa resistência acústica (R) é função da densidade do meio e, conseqüentemente, da velocidade de propagação do som neste meio. A resistência é a parte da impedância que não depende da

frequência. A reatância acústica ( $X$ ) é a parte da impedância que está relacionada com a frequência do movimento resultante (onda sonora que se propaga). É, também proveniente do efeito produzido pela massa e elasticidade do meio material sobre o movimento ondulatório.

Portanto, a impedância acústica é definida como o produto entre a velocidade da onda compressional e a densidade de um determinado meio segundo a equação.

$$IA = \rho.Vp$$

Onde: velocidade de onda compressional ( $Vp$ ) e densidade ( $\rho$ )

Isso significa que a impedância acústica é uma propriedade de camada e não uma propriedade de interface como é a amplitude do dado sísmico.

A velocidade do som na água do mar é relativamente constante em todos os lugares do mundo, pois suas propriedades variam muito pouco sob a mesma temperatura, pressão e diferentes salinidades esperadas. Por outro lado, a densidade dos sedimentos de fundo é função basicamente da mineralogia, da porosidade e do teor de água. Estes fatores variam localmente em maior escala, controlando portanto, de maneira mais intensa a impedância dos sedimentos (Ayres Neto, 2001).

O coeficiente de reflexão é função da diferença de impedância acústica entre dois meios (neste caso a água do mar e os sedimentos do fundo). Quanto maior for esta diferença, maior será a quantidade de energia refletida. Um sedimento mais compacto, menos poroso e com um teor de água menor será mais denso e refletirá uma quantidade maior de energia. Afloramentos rochosos também apresentam alta refletividade acústica (as mais altas). Por outro lado, sedimentos porosos e saturados, com densidade pouco maior que a água do mar serão pouco refletivos (Ayres Neto, 2001).

## 4.5 - Carbonatos

### 4.5.1 - Aspectos geológicos dos carbonatos

Aproximadamente um sexto da massa sedimentar da Terra é constituída por sedimentos carbonáticos, os quais por definição são aqueles que apresentam em sua composição mais de 50% em peso de materiais carbonáticos.

Embora esses sedimentos possam se originar também em Terra, é no mar que os mesmo são encontrados em maior abundância, especialmente em águas tropicais pouco profundas. Nesse ambiente existem as condições mais propícias a sua formação, relacionadas principalmente com a atividade orgânica, tais como temperaturas elevadas e a presença de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e outros carbonatos. A geração e deposição da maior parte dos carbonatos é controlada pela atividade biológica. Cerca de 90% dos carbonatos são de origem biológica (McCarthy, 2004).

Os principais elementos químicos dos carbonatos são a aragonita e a calcita, razão pela qual, muitos organismos possuem carapaças e estruturas calcíticas (foraminíferos) ou aragoníticas (pterópodos). A aragonita se dissolve mais facilmente do que a calcita. (profundidade de compensação na água marinha é menor do que a da calcita.) (Ponzi, 2004)

No trabalho apresentado por Fookes (1988) ele caracteriza três processos de formação para os sedimentos carbonáticos:

- a) Restos orgânicos fragmentados, originados a partir de conchas, coral e algas.
- b) Material precipitado em ambiente aquático, como resultado da grande concentração de carbonato em solução.
- c) Fragmentos transportados de rochas calcários antigas.

Acredita-se que o conteúdo de carbonato de cálcio (constituente primário na formação das carapaças de alguns organismos marinhos, como foraminíferos) nas amostras siga a

tendência de períodos relativamente mais favoráveis (quentes) ou menos favoráveis (frios) à proliferação destes organismos.

#### **4.5.2 - Deposição Carbonática**

A produtividade, tipos e abundância de sedimentos carbonáticos na plataforma continental são controlados em primeira instância, pelas condições climáticas. Temperatura, salinidade e intensidade fótica (luminosidade), embora outros fatores exerçam também significativa influência. É o caso, por exemplo, do comportamento do nível do mar relativo, da turbidez das águas, da natureza do substrato, do fluxo de nutrientes e do regime hidrodinâmico. Não deve ser esquecido também que a ausência de aporte terrígeno é fator importante, já que as áreas de maior deposição carbonática atual no mundo (Bahamas, Caribe, Yucatán, Golfo Árabe, Austrália Ocidental, Indonésia, etc) são locais caracterizados por condições de aridez ou por isolamento de aporte terrígeno. O clima controla a temperatura e a salinidade da água, como também ao regime hidrodinâmico. Embora a produtividade ocorra tanto nas altas como na baixas latitudes, sua maior efetividade tem lugar nas águas mais quentes dos oceanos, localizados entre os 30° N e 30° S. (Ponzi, 2004)

McCarthy et al (2004) explica que nas regiões de baixas latitudes a sedimentação carbonática é principalmente influenciada pela disponibilidade de nutrientes e também colaborada pela maior presença de matéria orgânica causada pelo maior aporte de poeira eólica originária dos continentes em períodos áridos. Estes períodos áridos foram também associados a períodos frios com menores taxas de chuvas e menor cobertura vegetal nos continentes, facilitando assim uma maior e mais forte circulação atmosférica.

A porção interna de algumas plataformas evidencia presença escassa de sedimentos carbonáticos devido a processos de diluição causados pelo aporte relativamente intenso de material fluvial e muitas vezes também, pela consistência pouco rígida do substrato, fator esse que impede a fixação de determinadas idéias faunais. Por outro lado na plataforma

externa são comuns substratos rígidos, os quais constituem condições ideais para a fixação e crescimento de algas coralígenas. (Ponzi, 2004)

#### **4.5.3 - Aspectos Geotécnicos dos sedimentos carbonáticos**

Basicamente, os sedimentos que possuem uma quantidade muito alta de carbonatos, exibem três características que as distinguem como material de fundação dos solos normalmente encontrados em terra: compressibilidade acentuada, cimentação e heterogeneidade (Kormann, 1993).

A maior compressibilidade desses solos decorre principalmente da forma de seus grãos. Placas com espessura reduzida, associadas a uma fragmentação considerável, conferem às partículas um formato anguloso. Isso faz com que a estrutura resultante seja muito fofa. Inúmeros autores atestam a ocorrência de índice de vazios e elevados em depósitos de sedimentos carbonáticos em grande escala. Esses índices são bem superiores do que os observados para areias quartzosas. Essa estrutura fofa determina a existência de poucos pontos de contato entre os grãos, nos quais grandes concentrações de tensões ocorrem quando o material é carregado. Considerando-se ainda a baixa dureza dos carbonatos na escala de mohs (3, enquanto a do quartzo é 7), a ruptura de diversos contatos intergranulares ocorre com facilidade, levando a uma intensa quebra de grãos, que por sua vez faz com que o solo experimente várias reduções no volume (modificado, Kormann, 1993). Esse fenômeno pode ser apreciado nos trabalhos de Datta et al (1979) e de Coop (1990).

Dada a origem complexa dos sedimentos com conteúdo carbonático, os mesmos se apresentam bastante heterogêneos. É frequente a variação acentuada de suas propriedades geotécnicas de uma amostra a outra, assim como espacialmente em um dado sítio. Isso dificulta bastante a definição dos parâmetros típicos de um depósito e a generalização das experiências adquiridas em cada obra (modificado Kormann, 1993).

#### 4.6 - Susceptibilidade Magnética

A susceptibilidade magnética é uma das mais importantes grandezas físicas que pode-se medir experimentalmente no que se refere às propriedades físicas de materiais magnéticos.

Em eletromagnetismo a susceptibilidade magnética é a capacidade que tem um material de ficar magnetizado sob a ação de uma estimulação magnética. Desta forma, o grau de magnetização de um material, em resposta de ao campo magnético aplicado, define a susceptibilidade magnética deste material.

Em particular, sua determinação pode revelar características tais como a ocorrência de transições de fase de natureza variada, ou a existência de estados com ordenamento magnético, com ou sem magnetização resultante (Faria, 2000). Isso porque, na presença de um campo magnético cada material responde de acordo com as propriedades de seus átomos e moléculas individuais bem como das interações entre estes.

Portanto, a susceptibilidade magnética é uma propriedade física intrínseca das rochas e solos, constituindo uma grandeza adimensional cujas magnitudes são distintas nos dois sistemas (Sheriff, 1999).

De acordo com Schon (1996), existem três grupos de materiais com propriedades magnéticas:

- a) Diamagnético: material sob influência do campo magnético apresenta a magnetização no sentido oposto, ou seja, valores negativos de susceptibilidade;
- b) Paramagnético: sob influencia do campo magnético, os elétrons produzem um momento magnético na mesma direção do campo aplicado, ou seja, apresentam valores de susceptibilidade positiva;



- c) Ferromagnético, ferrimagnético e antiferromagnético: este tipo de magnetismo ocorre em materiais em que os elétrons apresentam magnetização espontânea. A susceptibilidade neste caso é positiva, porém mais forte que os materiais paramagnéticos, e negativa (antiferromagnéticos), em relação aos materiais diamagnéticos.

Nos sedimentos, encontram-se outros fatores controladores da susceptibilidade magnética como a quantidade de argila, que faz com que a susceptibilidade aumente, e o tamanho do grão. Quanto menor o tamanho do grão mineral magnético, menor o valor de susceptibilidade.

Frederichs et al. (1996) afirma que valores altos de susceptibilidade magnética indicam alta concentração de litogênicos, mineralização de ferro ou baixa produtividade de carbonato/opala e vice versa. Logo, esta relação pode ser utilizada para a mútua correlação entre seqüências sedimentares depositadas em condições similares a nível global ou regional.

#### **4.7 - Resistência ao Cisalhamento**

A resistência ao cisalhamento de um sedimento pode ser definida como a máxima tensão  $\hat{\sigma}_r$  de cisalhamento que o solo ou sedimento pode suportar sem sofrer ruptura, ou tensão de cisalhamento do sedimento no plano em que a ruptura estiver ocorrendo (Pinto, 2000). No caso do solo não apresentar ponto de ruptura definido, a ruptura é definida a partir de um máximo de deformação admissível. A ruptura acontece quando ocorre um excesso de movimentos relativos entre as partículas e o solo não suporta mais o acréscimo de carga.

Alguns fatores controlam o cisalhamento dos materiais, sendo eles o atrito e a coesão dos grãos.

Atrito interno inclui:

- o atrito físico entre as partículas
- o atrito fictício devido ao entrosamento de suas partículas

Coesão se divide em:

- coesão aparente, resultante das pressões capilares da água contida nos solos ou sedimentos.
- coesão verdadeira proveniente das forças eletroquímicas de atração das partículas de argila.

Ocorre uma diferença bastante importante entre as forças transmitidas nos contatos entre os grãos de areia e os grãos de argila. Nos contatos entre os grãos de areia, geralmente as forças transmitidas são suficientemente grandes para expulsar a água da superfície, de tal forma que os contatos ocorrem geralmente entre os dois grãos minerais.

No caso das argilas, o número de partículas é muito maior, sendo a força transmitida em um único contato, extremamente reduzida. Sendo assim, as partículas de argila são envolvidas por moléculas de água quimicamente adsorvidas a elas. As forças de contato não são suficientes para remover estas moléculas de água, e elas se tornam as responsáveis pela transmissão das forças (Pinto, 2000).

#### **4.8 - Regressões lineares**

Análise por regressões lineares é a busca pelo melhor ajuste linear entre dois conjuntos de dados quando se acredita que esses dados possam se correlacionar, de modo que o valor de um pode ser estimado se o valor do outro parâmetro é conhecido. As equações de Regressões lineares são na forma matemática de  $y=mx+b$ , onde  $x$  é a variável independente,  $m$  é a inclinação da reta,  $b$  é a interseção (o valor de  $y$  quando  $x=0$ ) e  $Y$  é a variável dependente ou variável resposta (Chapman, 1995).

Em geral, duas variáveis que possuem o coeficiente de correlação diferente de zero, podem ser chamadas de correlacionáveis (Wackernagel, 1995). Entretanto os pontos dados estão em linha reta apenas quando há uma função de relação linear. Normalmente há uma dispersão desses valores devido a vários fatores, como o erro nas medições, precisão dos equipamentos ou metodologia utilizada para adquirir os dados, a quantidade de dados coletados e a presença de duas diferentes populações nos pontos de dados em uma mesma aquisição (Hirsche et. al., 1998).

A quantidade de dispersão é medida pelo coeficiente de correlação. Em outras palavras, o coeficiente de correlação é a medida da dependência linear entre duas variáveis. Este valor varia entre -1 e +1. O valor de -1 indica uma correlação perfeita negativa, o valor 1 indica uma perfeita correlação positiva e 0 indica que não há correlação. No entanto a questão é o quanto essa correlação é forte? Para isso existem várias respostas.

Geralmente a correlação entre os valores 0 e 0.3 é considerada uma correlação fraca, entre 0.3 e 0.6 é considerada moderada e 0.6 a 1 é considerada forte. A correlação com o valor 1 é considerada perfeita. (Anderson and Finn, 1997). No presente trabalho todas as correlações serão consideradas, levando em consideração o grau de força entre elas.

Além disso, o índice de  $r^2$ , comumente referido como a proporção de variação em  $y$  atribuível à  $x$ , pode ser interpretado como a redução proporcional na soma dos desvios quadrados conseguido usando a melhor função linear de  $x$  para prever  $y$ . Em outras palavras isso pode ser usado para prever a extensão em que  $y$  é previsto a partir de  $x$ .

## 5 - METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido na ordem a seguir. Primeiramente foi feito um levantamento bibliográfico, para a obtenção de informações sobre a região de interesse e o tipo de estudo a ser realizado, sobre o comportamento, as características e correlações dos parâmetros acústicos e geotécnicos dos sedimentos do fundo marinho; e também, a caracterização geológica da área de estudo em questão. O conteúdo adquirido nesta etapa serviu de base para o planejamento das tarefas seguintes.

Com a finalização dessa primeira etapa, efetuou-se o embarque para a aquisição de dados acústicos e geológicos (testemunhos), sendo coletados um total de 800 km de dados geofísicos de classificação acústica de sedimentos (que não foram utilizados nessa monografia) e realizados 8 pontos de amostragem direta que geraram cerca de 3,5m de testemunhos sedimentares, além de cerca de 150 sub-amostragens em seringas, previamente preparadas para estudos específicos de teor de água e densidade úmida.

Posteriormente à aquisição dos dados, estes foram analisados em laboratório. Procederam-se ensaios geotécnicos e geológicos, ensaios geofísicos e de caracterização dos sedimentos.

Para os ensaios geofísicos foi realizado o processo de perfilagem dos testemunhos, através do equipamento Multi Sensor Corer Logger (MSCL), no qual se obtiveram medidas de velocidade de onda P, densidade gamma, susceptibilidade magnética, impedância acústica e porosidade, que foram analisadas e interpretadas com características associadas aos sedimentos adquiridos.

Os ensaios geológicos consistiram na abertura dos testemunhos para a descrição sedimentológica e fotografia, realizados no Banco de Amostras do LAGEMAR (Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – UFF). No processo para se determinar a granulometria dos sedimentos, utilizou-se o granulômetro Mastersizer 2000. Quando o sedimento possuía

frações acima de 1mm, foi utilizado para a análise da granulometria, o processo de peneiramento.

Os ensaios geotécnicos também foram realizados no Laboratório do LAGEMAR. Estes foram subdivididos em resistência ao cisalhamento e ensaio de carga.

Como procedimento final dos estudos, foram realizados os ensaios para se determinar o teor de carbonato presente nas amostras, baseados na reação dos sedimentos na presença do ácido clorídrico (HCl).

### **5.1 - Aquisição de Dados**

Durante o embarque para a aquisição de dados, utilizou-se como referencia a lista de coordenadas fornecida pela Repsol para os 8 pontos de amostragem direta. Cada ponto de amostragem gerou um testemunho, do qual foram retiradas seções para ensaios geotécnicos, ou trás para descrição geológica e perfilagem geofísica, além de seções para a determinação do teor de carbonato, da granulometria, densidade, teor de água e porosidade.

Para o estudo do teor de carbonato especificamente, foram utilizados os testemunhos coletados nos pontos 1, 2 e 3, cujas profundidades possuem 2104m, 415m e 70m, respectivamente.

Para coleta de amostras foi utilizado um amostrador do tipo box-corer com caixa de coleta de 50 cm x 50 cm x 70 cm (figura 5). Esse equipamento retira amostras de sedimentos indeformadas com volume de 175.000 cm<sup>3</sup>, ideal para a pesquisa aplicada a dutos submarinos. A amostra principal retirada foi, então, sub-amostrada para ensaios geofísicos, geológicos, geotécnicos e teor de carbonato (figura 6).



Figura 5: Amostrador box-corer utilizado no trabalho.

Foto: Redusino Jr., M. C. G.



Figura 6: Sub-Amostragem realizada no box-corer, a ser utilizada para ensaios geológicos, geofísicos, geotécnicos e teor de carbonato.

Foto: Redusino Jr., M. C. G.

## 5.2 - Ensaios realizados

### 5.2.1 - Ensaios Geofísicos

Nos ensaios geofísicos, o equipamento utilizado foi o Multi Sensor Core Logger (MSCL), no qual se analisa a velocidade da onda P, susceptibilidade magnética, além da densidade gamma dos sedimentos (Figura 7).

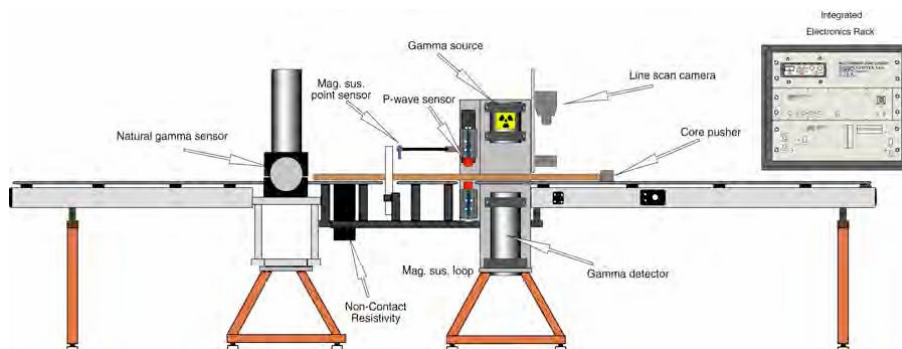


Figura 7: Equipamento Multi-Sensor Core Logger (MSCL) utilizado para análise geofísica (velocidade de onda P, densidade gama e susceptibilidade magnética).

Fonte: MSCL Overview, 2007.

O sistema de medição de velocidade de ondas P consiste em dois transdutores (Fig. 8) de ultra-som na frequência de 250 kHz, posicionados um em cada lado do testemunho, fazendo com que a onda seja emitida por um lado e detectada no outro (modificado Figueiredo *et al.* 2008).

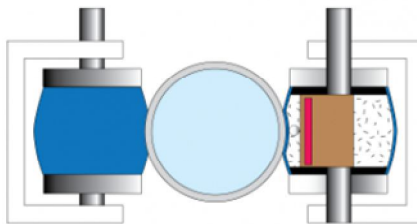


Figura 8: Sistema de medição de  $V_p$  no MSCL. Observa-se que os transdutores estão diametralmente opostos em relação ao testemunho.

Fonte: MSCL, 2007.

Para se medir a susceptibilidade magnética do sedimento, o sistema possui um sensor de densidade gama que se constitui em uma cápsula de 10 mili-Curie de Césio 137

protegida por um invólucro de chumbo com um colimador de 2,5 e 5 mm. Produz energia principalmente a 0,062 MeV (modificado de Figueiredo *et al.* 2008).

O mecanismo de medida de densidade gama se dá pelo Efeito Compton. Os fótons emitidos pela fonte passam pelo testemunho e são detectados no outro lado. Nessa trajetória, os fótons sofrem espalhamento ao se chocarem com os elétrons presentes no testemunho, e conseqüentemente há perda de energia parcial, ou seja, atenuação dos raios gama. A atenuação, portanto, está diretamente relacionada ao número de elétrons no feixe de raios gama (espessura do testemunho e a densidade dos elétrons). Ao medir o número de fótons gama transmissíveis que passam através do testemunho, a densidade do sedimento pode ser determinada. Para diferenciar os fótons gama dispersos e transmitidos, o sistema de detecção gama conta somente os fótons que têm a mesma energia da fonte, isso quer dizer que há uma janela de contagem em torno de 0,062 MeV.

Os dados de densidade gama podem fornecer dados precisos de densidade volumétrica e alta resolução, e também serem um bom indicador de litologia e mudanças de porosidade. Outra aplicação importante é o cálculo da impedância acústica, cujos dados serão utilizados nesta monografia, e a construção de sismogramas sintéticos.

Os valores de porosidade podem ser calculados, assumindo sensivelmente que: o sedimento é totalmente saturado com água, ar ou qualquer outro fluido; densidade do mineral predominante e densidade do fluido.

O sistema para medidas de susceptibilidade magnética apresenta um circuito oscilador que produz um campo magnético alternante (0,565 kHz) de baixa densidade, não saturado (aprox. 80 A/m RMS) que se modifica com a passagem de qualquer material com susceptibilidade magnética (Figueiredo *et al.* 2008).

### **5.2.2 - Granulometria**

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso, que cada faixa específica de tamanho de partículas representa na



massa total ensaiada; ou seja, a porcentagem do peso que cada fração possui em relação à massa total da amostra em análise.

A granulometria dos sedimentos finos foi realizada no Granulômetro a laser Mastersizer 2000, da Malvern Instruments. Nele são definidas, estatisticamente, as frações de areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina, além das porções de silte e argila de cada amostra. Para amostras que contiverem frações acima de areia muito grossa, ou seja, cascalho e fragmentos de conchas, a análise granulométrica foi realizada com peneiras de 1,00 e 2,00 mm.

### **5.2.3 - Determinação do Teor de Carbonato**

O processo realizado para a determinação do teor de carbonato presente nas amostras, ocorreu a partir da digestão em ácido clorídrico (HCl), com sua posterior lavagem e pesagem. O resultado foi obtido através da diferença entre as massas das amostras observadas antes e depois do processo de acidificação.

Como primeiro passo, realizou-se o fracionamento dos testemunhos em amostras de 2 em 2 centímetros, separadas em Beckers individuais e posteriormente pesadas em balança de precisão.

A partir dos testemunhos fracionados, obteve-se na sequência 59 sub-amostras, sendo 20 do testemunho T1, 25 do testemunho T2 e 14 do testemunho T3. Com o objetivo de se eliminar o conteúdo carbonático das sub-amostras obtidas, teve início o processo de acidificação com ácido clorídrico (HCl), inicialmente a uma concentração de 30%. A porcentagem da concentração de ácido clorídrico foi aumentada à medida que a reação produzida era insuficiente para eliminar o conteúdo de carbonato de cálcio. No caso isolado do testemunho T3, utilizou-se o ácido totalmente concentrado (100%). Isso ocorreu devido à presença de grandes fragmentos de carbonatos especificamente nessa amostra.

Observou-se, portanto, durante alguns dias, a completa reação das amostras. Essa reação, após o total consumo dos carbonatos pelo ácido clorídrico, apresentou variações de tempo e quantidade de ácido utilizado para cada amostra, já que as amostras que apresentavam um maior teor carbonático, reagem ao ácido durante mais tempo do que as amostras menos carbonáticas.

Como segundo passo as amostras foram lavadas com água destilada, com a finalidade de se retirar todo o ácido residual das mesmas. Em seguida foram levadas para a estufa a 50°C até a sua secagem completa. Essa temperatura de 50°C foi recomendada para que não houvesse perda da fração argila das amostras.

Com o fim do processo de acidificação, lavagem e secagem das amostras, foi realizada a pesagem final, que permitiu o cálculo da quantidade de peso perdido com a eliminação do carbonato de cálcio. Esta perda determinou a diferença de pesos entre o resultado e a amostra original, e conseqüentemente a percentagem do teor de carbonato original da amostra foi obtido pela seguinte fórmula:

Peso inicial – Peso final = Peso de carbonato

Peso de carbonato/peso inicial \* 100 = Percentagem de carbonato na amostra original.

#### **5.2.4 - Ensaio Geotécnicos**

Os testemunhos utilizados na análise geotécnica foram estudados a cada dois centímetros e os seguintes ensaios foram realizados: a) Ensaio de resistência ao cisalhamento, utilizando o Torvane de bolso (*Humboldt* MFG CO H-42121-*Solotest*). b) Ensaio de carga, utilizando Penetrômetro de mão de precisão Geotester (Figura 9).



Figura 9: À esquerda: Torvane de bolso (*Humboldt MFG CO H-42121-Solotest*).

À direita: Penetrômetro de mão de precisão (*Geotester*).

Fotos: Souza, J. M.G., 2009

O ensaio de resistência ao cisalhamento foi realizado com o Torvane de bolso que tem por finalidade a medição da tensão máxima de cisalhamento do sedimento marinho, sem que ele sofra ruptura, ou medir também a tensão de cisalhamento do sedimento no plano onde uma ruptura estiver ocorrendo. O procedimento foi utilizado nas amostras indeformadas com superfície plana disponível para o teste.

Este equipamento possui três discos de diferentes tamanhos com uma numeração específica. A escala do mostrador é de 0 a 1 Kgf/cm<sup>2</sup> x 0,05 Kgf/cm<sup>2</sup> e sua leitura é feita de uma forma direta, quando a sonda média é utilizada. A faixa de trabalho amplia-se quando utilizadas as outras sondas (grande e pequena). Para estas, são aplicados os fatores de multiplicação 0,2 e 2,5, respectivamente.

O ensaio de carga visa estimar a capacidade de suporte de carga dos solos parcialmente saturados ou saturados. Para este fim, foi utilizado o Penetrômetro de bolso com mostrador de precisão analógico, provido de um indicador de pico. Este equipamento possui um penetrador padrão de Ø 6,35mm e a escala é de 0 a 6 Kgf/cm<sup>2</sup>. Outros 4 penetradores (Øs 10, 15, 20 e 25mm) também podem ser utilizados. O procedimento é bem simples, penetra-se o equipamento até uma determinada profundidade padrão, e o equipamento marca qual a pressão e a força realizadas para se atingir tal profundidade.

## **6 - RESULTADOS**

Neste capítulo serão apresentados os resultados médios encontrados para todos os testes e ensaios realizados com os testemunhos. Granulometria, Velocidade de ondas P, Densidade, Suscetibilidade Magnética, Impedância Acústica, Porosidade, Teor de Carbonato, Resistência ao Cisalhamento, Ensaio de Carga.

Todos os valores foram obtidos com os testemunhos sendo fracionados de 2 em 2 centímetros. Esses resultados foram organizados em tabelas e serão apresentados no Apêndice 1 deste trabalho.

A partir dos resultados, foram gerados perfis com os valores encontrados para uma posterior correlação com os dados do teor de carbonato e mapas com os valores médios encontrados para cada parâmetro estudado.

### **6.1 - Granulometria**

#### **Testemunho T1**

O testemunho T1 localiza-se na região mais profunda da área de estudo, sendo coletado sob uma profundidade de 2104 m na porção de talude inferior da bacia. É um testemunho que possui um comportamento bem homogêneo, sendo a grande parte dos sedimentos de fração silte ou argila, como pode ser observado na Figura 10.

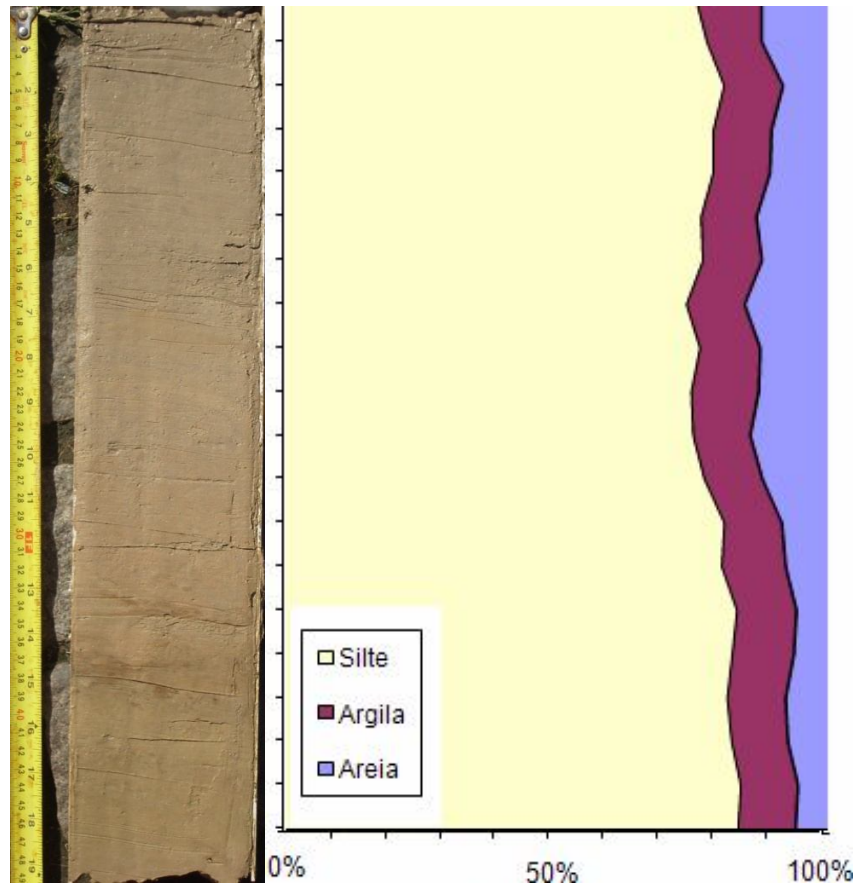


Figura 10: Imagem do testemunho T1, com a distribuição das granulometrias presentes na amostra.

Neste testemunho foram observadas poucas mudanças em sua granulometria, sendo o predomínio total da fração silte entre 75 e 85% e argila com cerca de 10% durante todo o testemunho.

### Testemunho T2

Este testemunho foi coletado a uma profundidade de 415m no talude continental, apresentando-se de uma maneira geral, bem homogêneo, não possuindo assim, uma variação muito grande em relação à granulometria dos seus sedimentos. (Fig. 11)

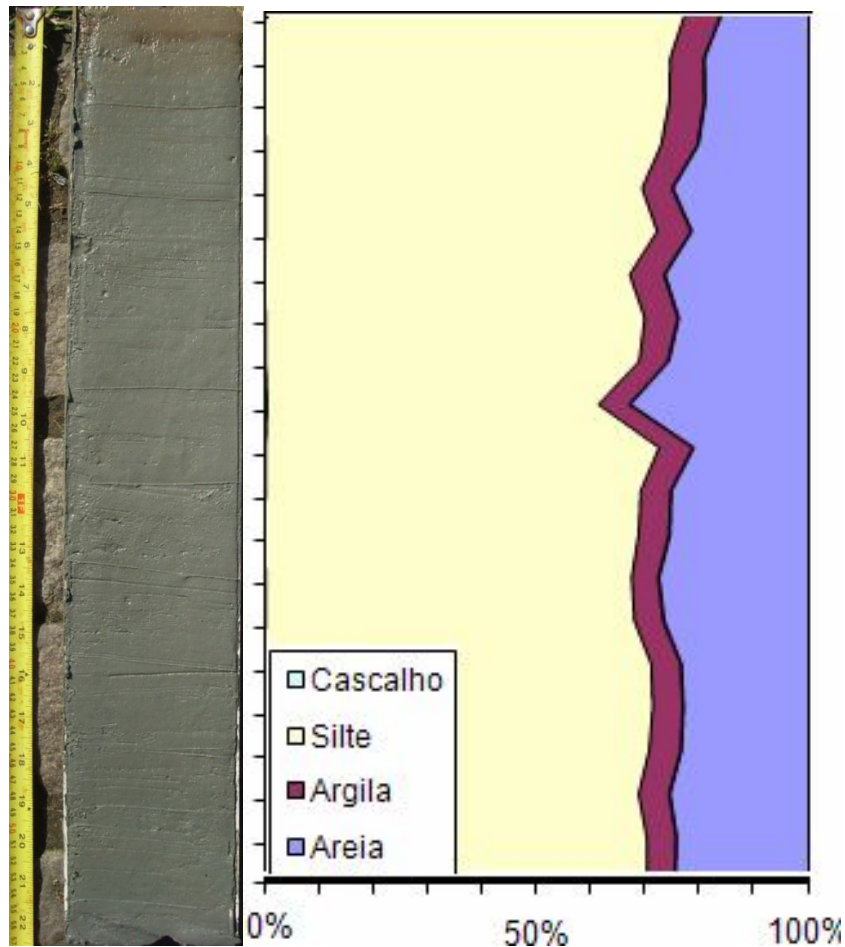


Figura 11: Imagem do testemunho T2, com a distribuição das granulometrias presentes na amostra em função da profundidade.

Possui silte em percentagens variando de 68 a 77% durante todo o testemunho, e uma pequena diferença em relação ao testemunho T1. Com cerca de 15% a areia muito fina é o sedimento que aparece como a segunda porção mais significativa deste testemunho.

### Testemunho T3

O testemunho T3 foi coletado a 70 m de profundidade, representando a amostragem mais rasa deste trabalho. Sua descrição é bem característica, se mostrando bem mais interessante em relação à mudança de granulometria sedimentar, em vista dos outros testemunhos descritos acima (Fig. 12).

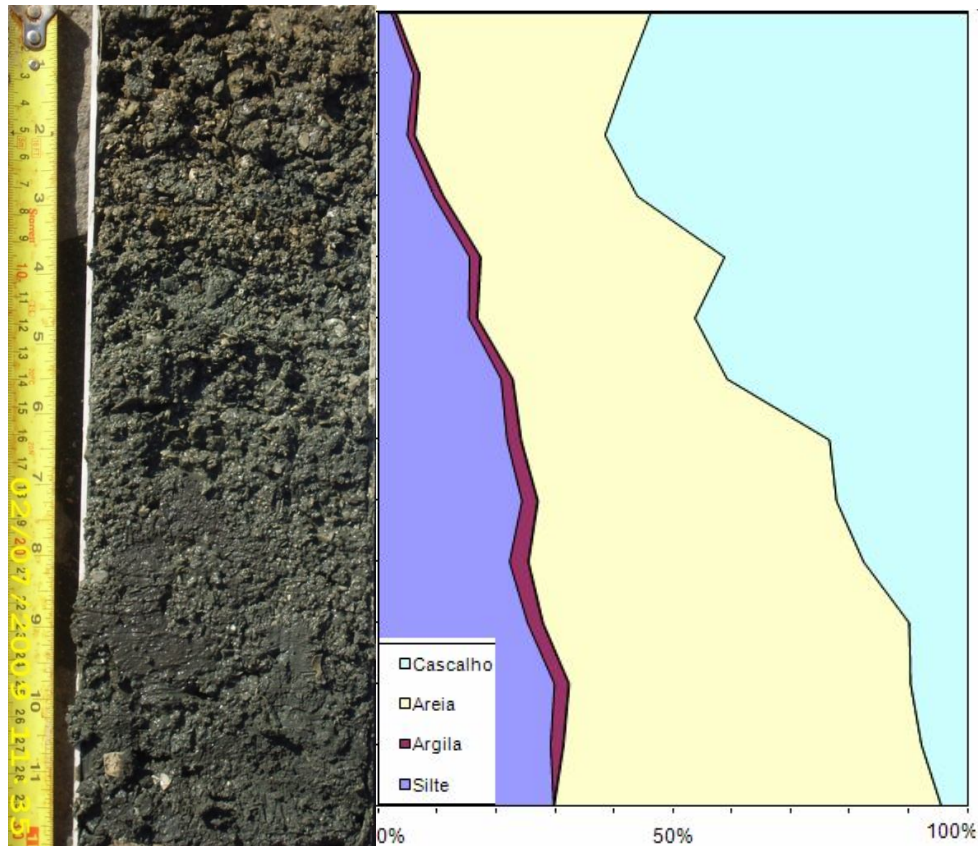


Figura 12: Imagem do testemunho T3, com a distribuição das granulometrias presentes na amostra.

Este testemunho apresenta frações desde cascalho até fração silte, sendo totalmente intercalado por areias (desde areia grossa a areia fina). Do topo para a base ocorre a diminuição de sua granulometria predominante, de uma forma gradual. Como exemplo, a porção de cascalho varia consideravelmente possuindo uma representatividade de 54,3% no topo e na base possuindo 4,5%. Na fração silte ocorre o inverso, possui em seu topo 2,4% passando gradualmente a 30,2% em sua base. A fração areia, que neste gráfico aparece de uma forma unificada, possui um aumento gradual de sua quantidade, conforme ocorre o aumento da profundidade. Vale ressaltar que no topo do testemunho o predomínio entre as areias é a areia grossa, e na base a predominância é de areia muito fina.

No topo deste testemunho foi encontrada uma grande quantidade de conteúdo carbonático em frações de areia muito grossa ou cascalho. Conforme ocorria o aumento da profundidade, o conteúdo carbonático diminuía e a sua granulometria também.

A partir os dados obtidos com a granulometria foram plotados, em forma de gráfico de “pizza”, no mapa da área de estudo, sendo cada ponto de amostragem com seu respectivo testemunho (Figura 13).

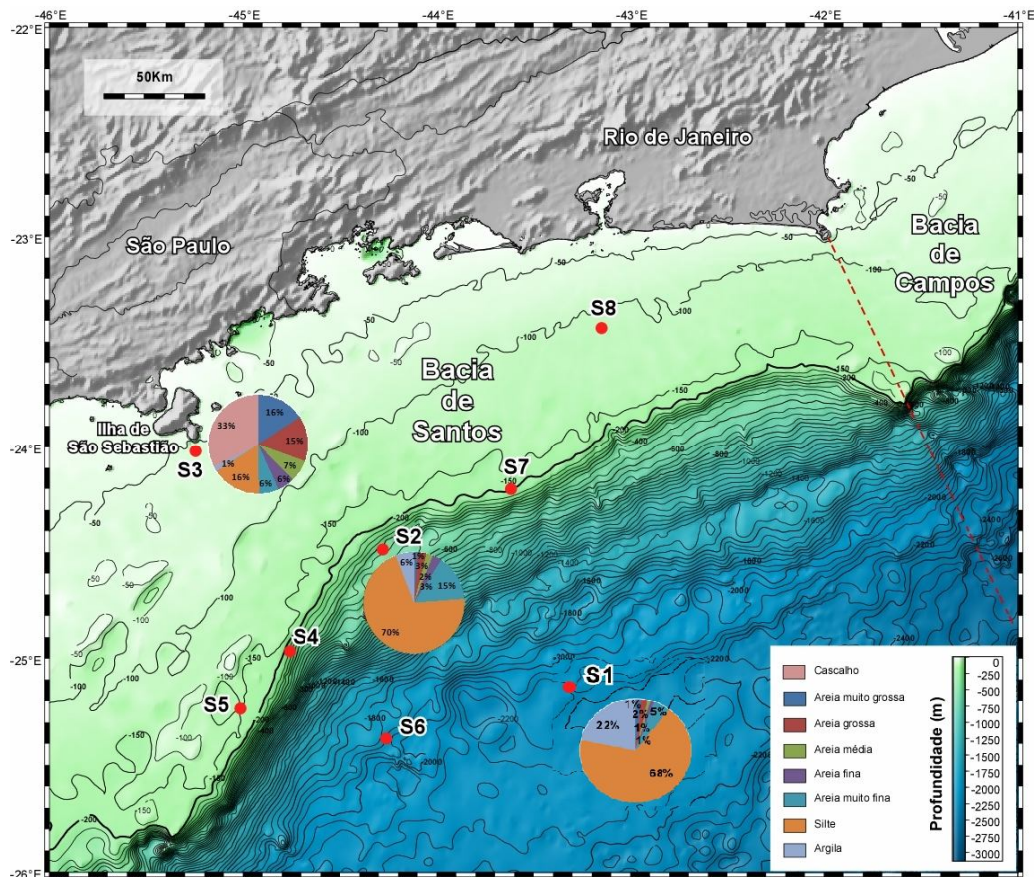


Figura 13: Mapa da área de estudo com valores médios de granulometria dos três testemunhos estudados. Mapa gerado no Programa GMT, com dados de posicionamento do GEBCO.

De acordo com trabalhos realizados por Figueiredo Jr. e Madureira (1999), nas regiões de plataforma interna e média predominam sedimentos arenosos, porém há locais onde se destacam granulometrias de areia cascalhosa, areia lamosa e lama arenosa. É importante observar que, entre a região de Cabo Frio e Santos, abrangendo a plataforma interna e média, caracterizam-se também sedimentos carbonáticos (areias de recifes de



algas, foraminíferos bentônicos e misturas de moluscos) (Kempf, 1972; Rocha et al, 1975; Vicalvi & Milliman, 1977).

Observa-se que os testemunhos T1, T2, possuem a maior fração granulométrica de lama, ou seja, o conteúdo de argila e silte (principalmente) são bem expressivos. O testemunho T3 possui areia grossa e cascalho em seu topo com lama em sua base.

## **6.2 - Velocidade de onda compressional**

Analisando o perfil de  $V_p$  no testemunho T1 (Figura 14), até 22 cm, a velocidade de ondas P não sofre variação. Entretanto, observa-se uma diminuição da velocidade, seguido de um aumento entre 24 e 28cm. Este testemunho possui uma granulometria praticamente constante durante todo o seu comprimento, portanto a variação que ocorre no valor do  $V_p$  pode ser atribuída a alguma estrutura sedimentar interna ou a fatores que influenciem na propagação ou atenuação de  $V_p$  como, por exemplo: porosidade, densidade e teor de água.

No testemunho T2, composto por lama muito fluida e compacta, possui velocidades de 1481,77 m/s e 1494,198 m/s respectivamente. A análise do perfil de  $V_p$  indicam que entre 0 e 36 cm há uma variação da velocidade (1490 m/s a 1510 m/s aproximadamente). A seguir, a velocidade aumenta e depois decresce novamente, retornando a um valor semelhante ao encontrado na parte superior do testemunho.

Vale destacar que, no testemunho T3, há um aumento da velocidade entre 12 a 18 cm, e depois, mantêm-se praticamente constante até o final do perfil.

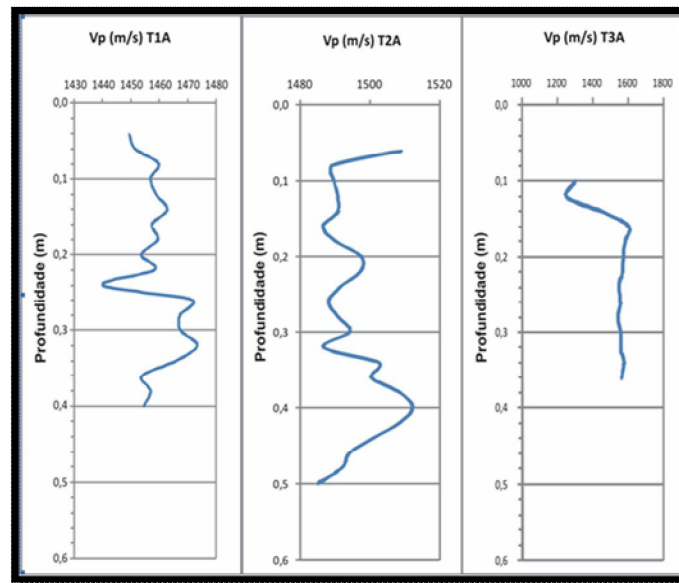


Figura 14: Perfis de velocidades de ondas P dos três testemunhos analisados.

Os valores médios de  $V_p$ , observados no mapa regional (Fig.15), mostram faixas de valores próximos, aumentando conforme a diminuição da profundidade. T3 possui o maior valor médio e o testemunho T1 o menor. Porém esse fator não deve servir de forma exclusiva para explicar essa diferença de velocidades, já que outros parâmetros também têm grande influência nessa questão. O testemunho T3, por exemplo, localizado na plataforma interna possui uma granulometria muito maior do que os outros dois testemunhos que é um fator que pode refletir diretamente na velocidade. Buckingham (2005) afirma que sedimentos com variações desde cascalho até argila, o aumento da granulometria reflete o aumento nos valores de velocidade.

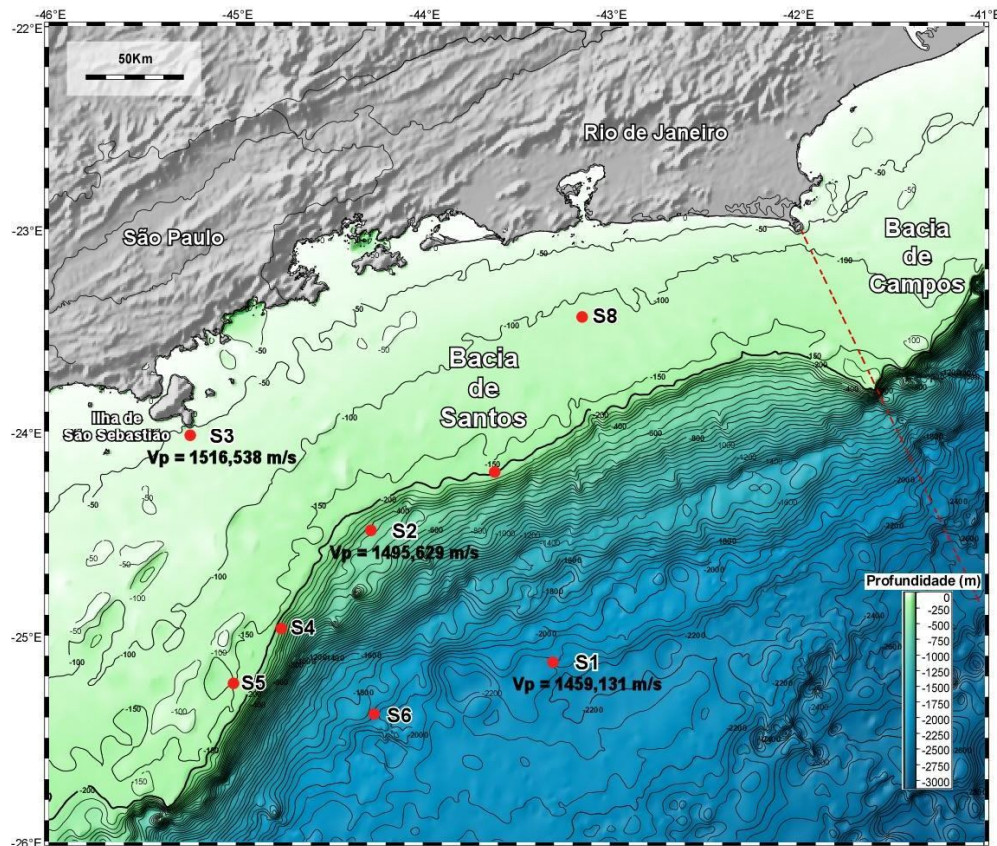


Figura15: Mapa da área de estudo com valores médios de velocidade de onda P dos três testemunhos utilizados neste estudo. Mapa gerado no Programa GMT, com dados se posicionamento do GEBCO.

Os outros dois testemunhos que estão localizados no talude, sendo o testemunho T1 localizado no talude inferior a uma profundidade de 2104 m e com o predomínio de lama, são sedimentos mais homogêneos e menos sensíveis a mudanças na propagação. Segundo Hamilton (1972), em siltes e argilas com altas porosidades, tanto para medida em laboratório quanto para medidas in situ, a velocidade de onda P é usualmente menor no sedimento que na água.

### 6.3 - Densidade

A densidade dos sedimentos é controlada pela composição mineral, porosidade e condições de saturação (Schon, 1996).

Os testemunhos T1 e T2 que estão localizados no Talude (inferior e superior, respectivamente) possuem um comportamento bastante homogêneo quanto às suas densidades. Nos dois testemunhos observa-se um crescimento pequeno de suas densidades conforme ocorre aumento da profundidade. O testemunho T2 apresenta uma pequena diminuição de seu valor próximo a sua base que não é acompanhado por sua granulometria, já que não há nenhum tipo de alteração na mesma. (Figura 16)

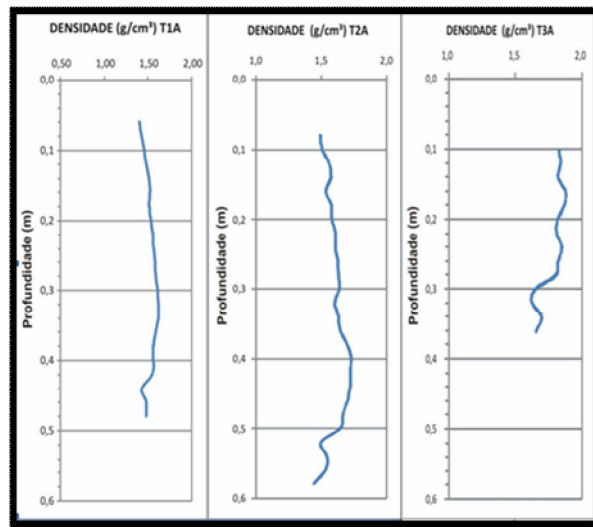


Figura 16: Perfis de Densidades dos três testemunhos estudados.

Já o testemunho T3 observa-se mudança na densidade entre 24 e 27 cm, com transição de dois tipos de sedimentos: areia grossa ( $1,833 \text{ g/cm}^3$ ) e areia de grossa a média ( $1,642 \text{ g/cm}^3$ ). Depois, a densidade aumenta para  $1,682 \text{ g/cm}^3$  em areia média (modificado de Souza, 2010).

O valor médio de densidade no ponto T3 se destaca dos outros dois testemunhos, por possuir o maior valor ( $1,787 \text{ g/cm}^3$ ). Este testemunho possui uma granulometria bem definida, pela alta percentagem de frações cascalho, areia muito grossa, assim como as frações de areia grossa. O testemunho T2 apresenta um valor médio de 1,610. Já o testemunho T1 que possui um valor médio de  $1,530 \text{ g/cm}^3$ , possui o menor valor de densidade. Esses valores estão apresentados no mapa abaixo (Figura 17).

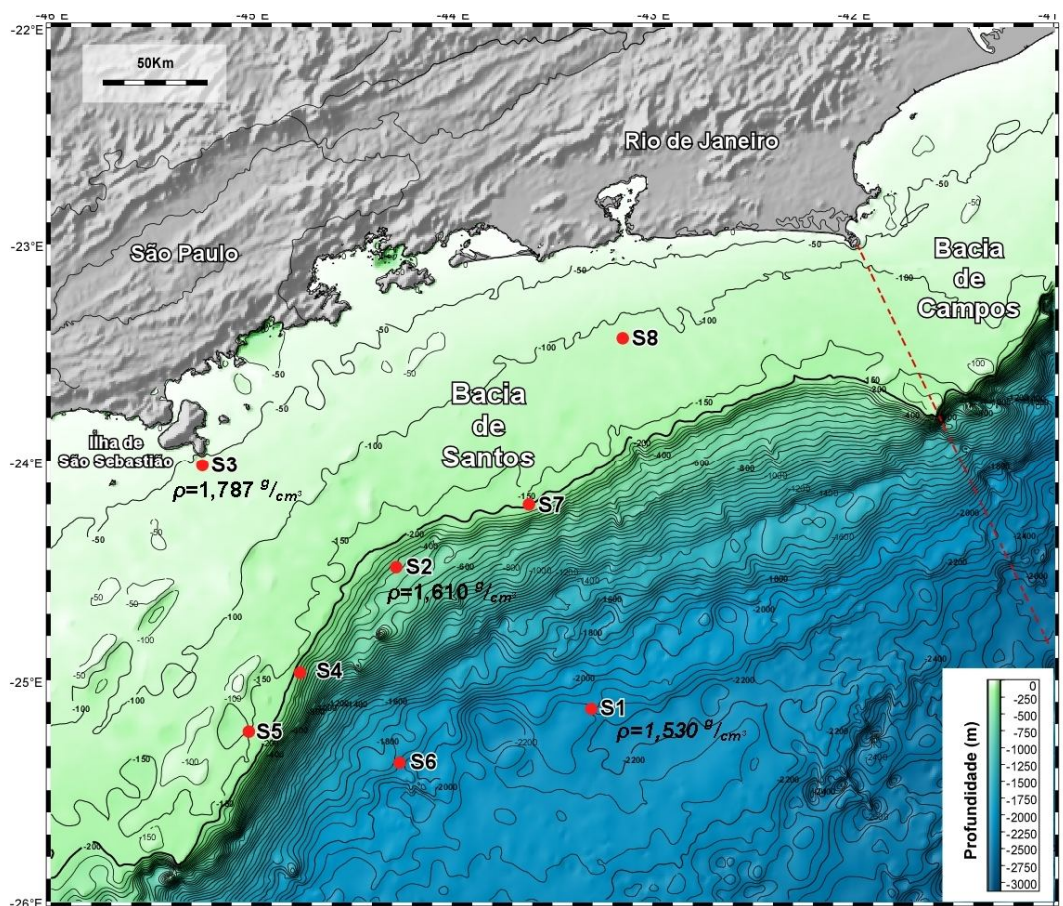


Figura 17: Mapa da área de estudo com valores médios de densidade dos três testemunhos estudados. Mapa gerado no Programa GMT, com dados de posicionamento do GEBCO.

#### 6.4 - Susceptibilidade Magnética

Nos testemunhos T1 e T2, os valores de susceptibilidade sofrem poucas variações: Possuem como valores médios  $4,473$  e  $5,433$  ( $\times 10^{-6}$  SI), respectivamente. O testemunho T1 apresenta um pequeno aumento acompanhando a variação da profundidade, assim como nos parâmetros estudados anteriormente. Já no testemunho T2, seu valor se mantém constante, sofrendo apenas uma diminuição próximo a sua base, assim como ocorre com seu valor de densidade.

O valor médio de susceptibilidade magnética no testemunho T3 se mostra de uma forma peculiar, sendo negativo, de  $-6,119 \times 10^{-6}$  SI). Fato este que pode ser relacionado à grande quantidade de sedimentos carbonáticos em sua parte superior, exatamente onde o valor negativo se torna mais intenso. É importante ressaltar, que no testemunho T3, os valores de susceptibilidade se apresentam negativos e positivos, ou seja, diamagnéticos e paramagnéticos (Fig. 18).

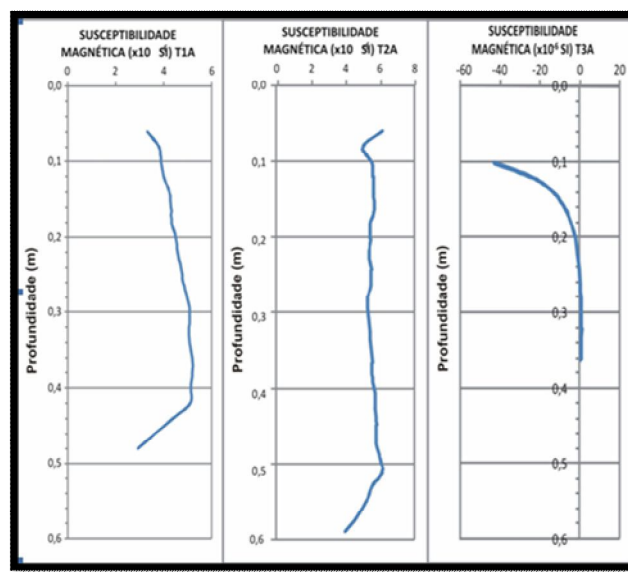


Figura 18: Perfis de Suscetibilidade magnética dos testemunhos estudados.

O testemunho T2 situado no talude superior apresenta o maior valor médio dentre os testemunhos estudados ( $5,433 \times 10^{-6}$  SI). Já o testemunho T1 (talude inferior) apresenta valor de  $4,473 \times 10^{-6}$  SI, e o testemunho T3 é que possui o menor valor entre eles e o único valor negativo ( $-6,119 \times 10^{-6}$  SI) (Figura 19).

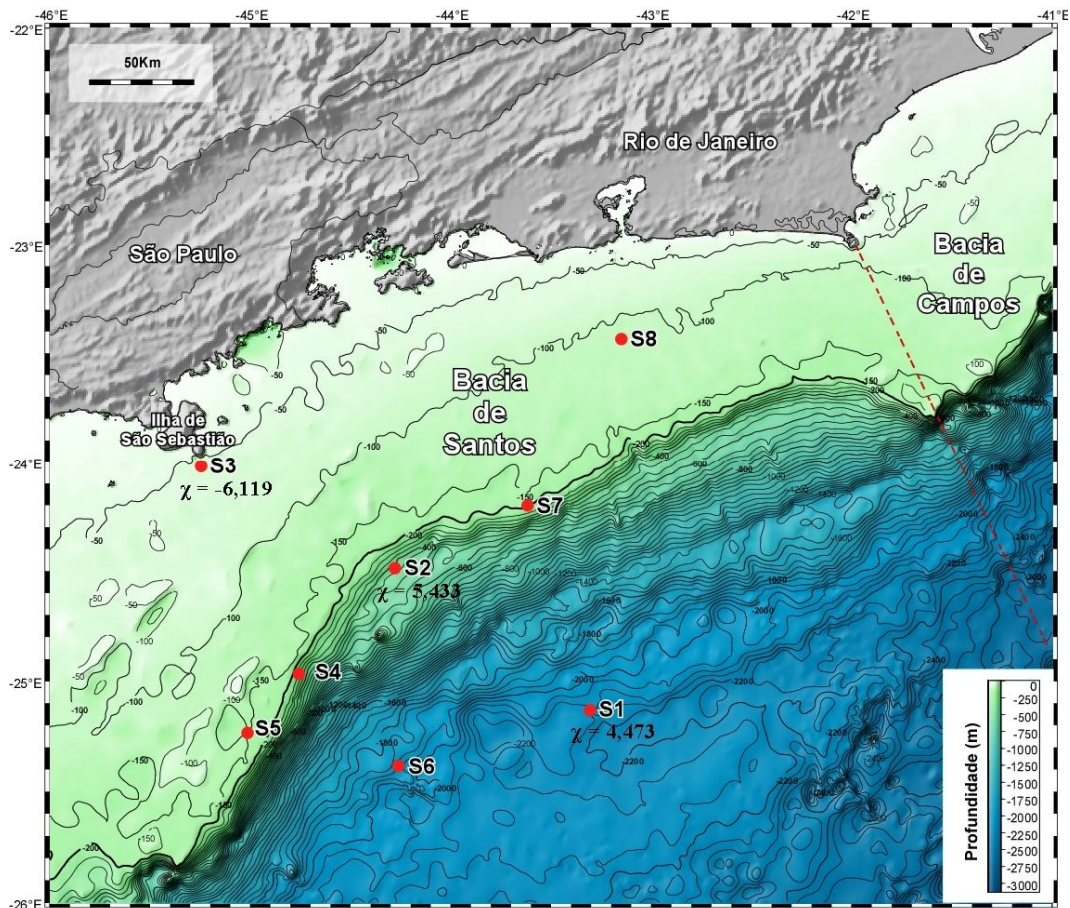


Figura 19: Mapa da área de estudo com os valores médios encontrados para Suscetibilidade Magnética. Mapa gerado no Programa GMT, com dados de posicionamento do GEBCO.

## 6.5 - Impedância Acústica

Os perfis de impedância acústica (Fig. 20) acompanham as tendências dos valores encontrados nos perfis de  $V_p$  e densidade, uma vez que seus valores são obtidos através do produto de ambas as grandezas. Este parâmetro é muito importante no auxílio à identificação de diferentes tipos de sedimentos, através do contraste existente nos contatos sedimentares.

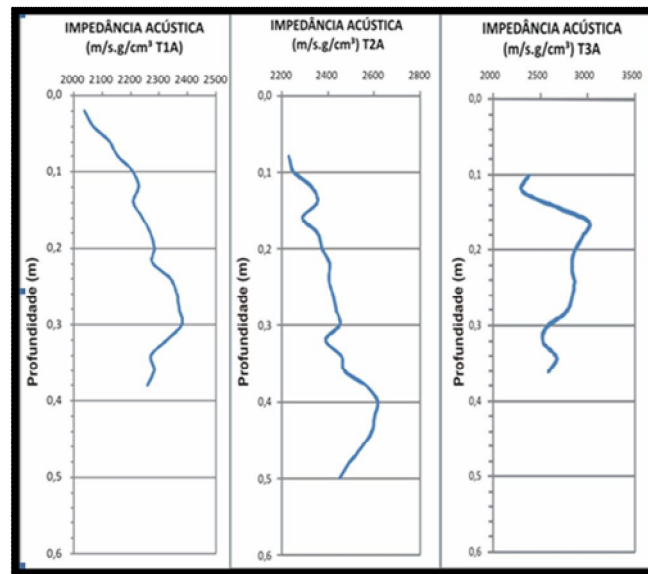


Figura 20: Perfis de Impedância acústica dos sedimentos nos testemunhos estudados.

No testemunho T1, nota-se um aumento progressivo no valor de impedância até a profundidade de 36 cm, após isso ocorre uma diminuição justamente quando são encontrados os maiores valores de fração silte e areia muito fina na avaliação granulométrica.

O testemunho T2, entre 1 a 43 cm, há um aumento progressivo da impedância em lama fluida ( $2433,801 \text{ m/s.g/cm}^3$ ), acompanhado de um decréscimo para lama compacta ( $2272,847 \text{ m/s.g/cm}^3$ ) entre 43 cm e a base. Possui um valor médio intermediário em comparação com os outros.

O testemunho T3, de 1 a 12 cm, apresenta valor de  $2348,863 \text{ (m/s.g/cm}^3)$  em areia muito grossa; de 12 a 16 cm, com  $2835,222 \text{ (m/s.g/cm}^3)$  em areia muito grossa a grossa; de 16 a 30 cm, com  $2860,512 \text{ (m/s.g/cm}^3)$  em areia grossa; e 30 cm até a base, com  $2638,316 \text{ (m/s.g/cm}^3)$  em areia média (fig. 21)

O valor de impedância acústica de T3 (fig. 21) destaca-se em relação aos demais, sendo o maior valor ( $2708,631 \text{ m/s.g/cm}^3$ ), influenciado diretamente pela maior densidade e o maior valor de  $V_p$ . Vale ressaltar que o testemunho T1 possui um dos maiores valores de



porosidade e menores de  $V_p$ , além de possuir o menor valor médio de Impedância acústica dos três testemunhos estudados.

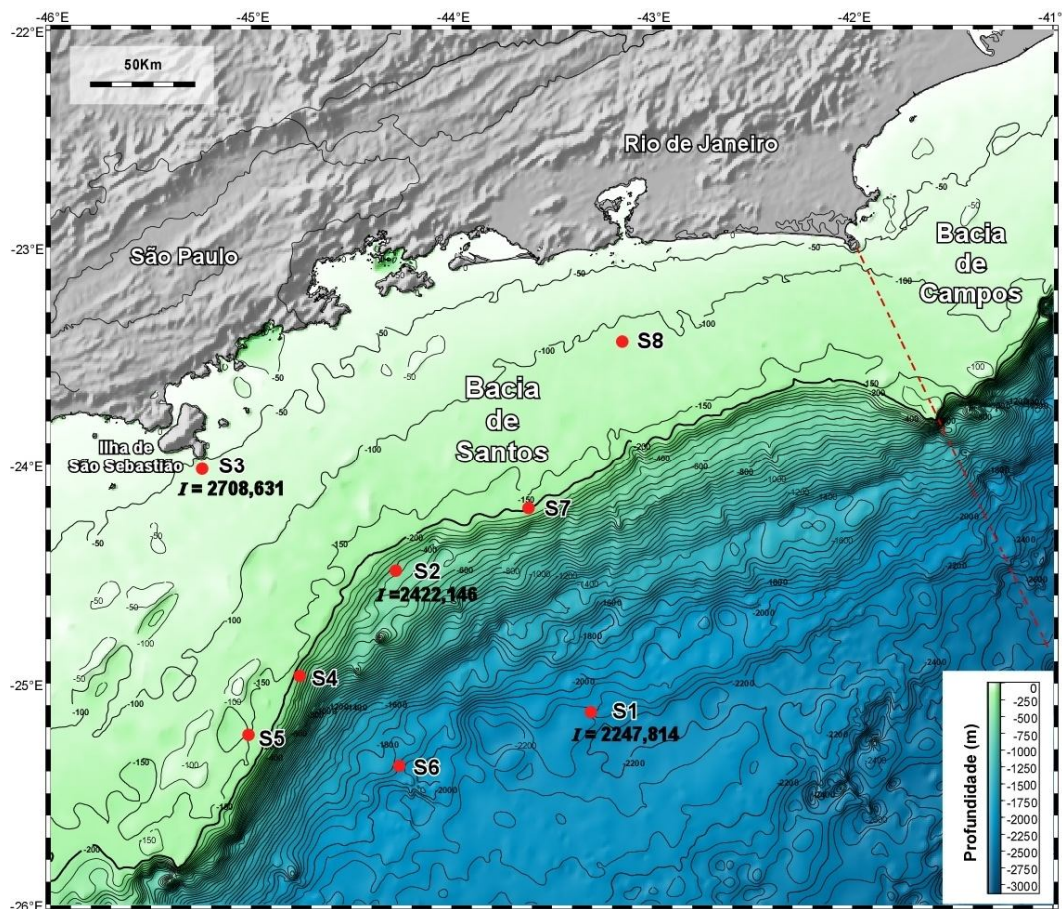


Figura 21: Mapa da área de estudo com valores médios de impedância acústica dos oito testemunhos. Mapa gerado no Programa GMT, com dados de posicionamento do GEBCO.

## 6.6 - Porosidade

O testemunho T1 apresenta um decréscimo de porosidade do topo para a base, observado no perfil abaixo, desde 8 a 34 cm de 0,766 até 0,694.

No testemunho T2, os valores apresentam-se constantes em todo o perfil. Seu valor médio é de 0,661.

No testemunho T3, os valores se mantêm constantes durante todo o testemunho, porém a partir de 27 cm, ocorre um aumento significativo, que o acompanha até a base. (Fig. 22)

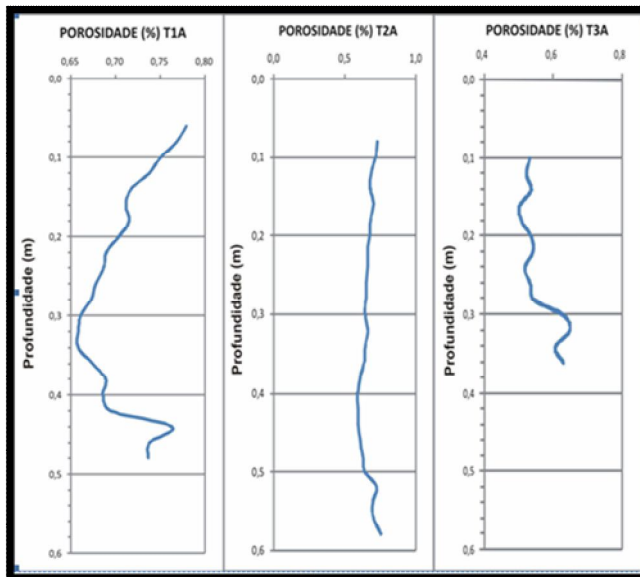


Figura 22: Perfis de porosidade dos testemunhos analisados.

O testemunho T1 possui um valor médio de 0,708, sendo o maior encontrado neste estudo. Isso pode ocorrer devido a sedimentos com um alto teor de argila, que podem ser muito porosos devido à forma do mineral argila e seu respectivo arranjo durante a deposição e compactação. Em contra partida, o testemunho T3 tem o menor valor médio de porosidade ( $\Phi < 0,6$ ), isso pode ter acontecido devido ao alto grau de sedimentos com uma granulometria grossa. Esses valores podem ser vistos a partir do mapa regional a seguir (Figura 23).

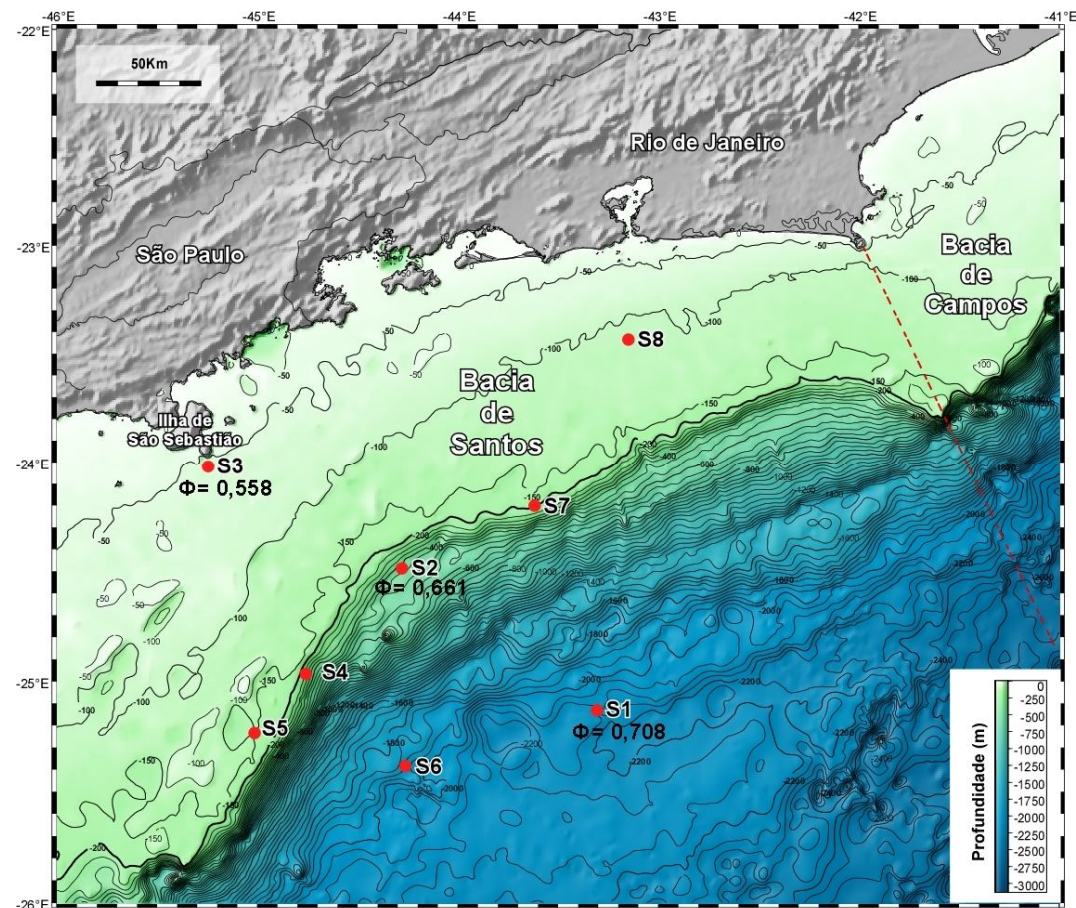


Figura 23: Mapa da área de estudo com valores médios de porosidade dos três testemunhos estudados neste trabalho. Mapa gerado no Programa GMT, com dados de posicionamento do GEBCO.

## 6.7 - Teor de Carbonato

No testemunho T1 a distribuição de carbonatos diminui conforme o aumento da profundidade, o mesmo acontece com o testemunho T3, embora a concentração de carbonatos no testemunho T3 seja muito maior que no testemunho T1. Já no testemunho T2, encontra-se uma variação muito pequena em relação à profundidade. Durante todo o testemunho a concentração de carbonatos gira em torno de 20%.

O testemunho T3 é o que apresenta maior valor médio para esse parâmetro, com 41,17%, possuindo em algumas porções cerca de 60% de concentração local. E o menor é o valor do testemunho T2 com cerca de 19% de seu conteúdo formado por carbonatos. T1 possui um valor médio de 29% de carbonatos em sua constituição (Figura 24).

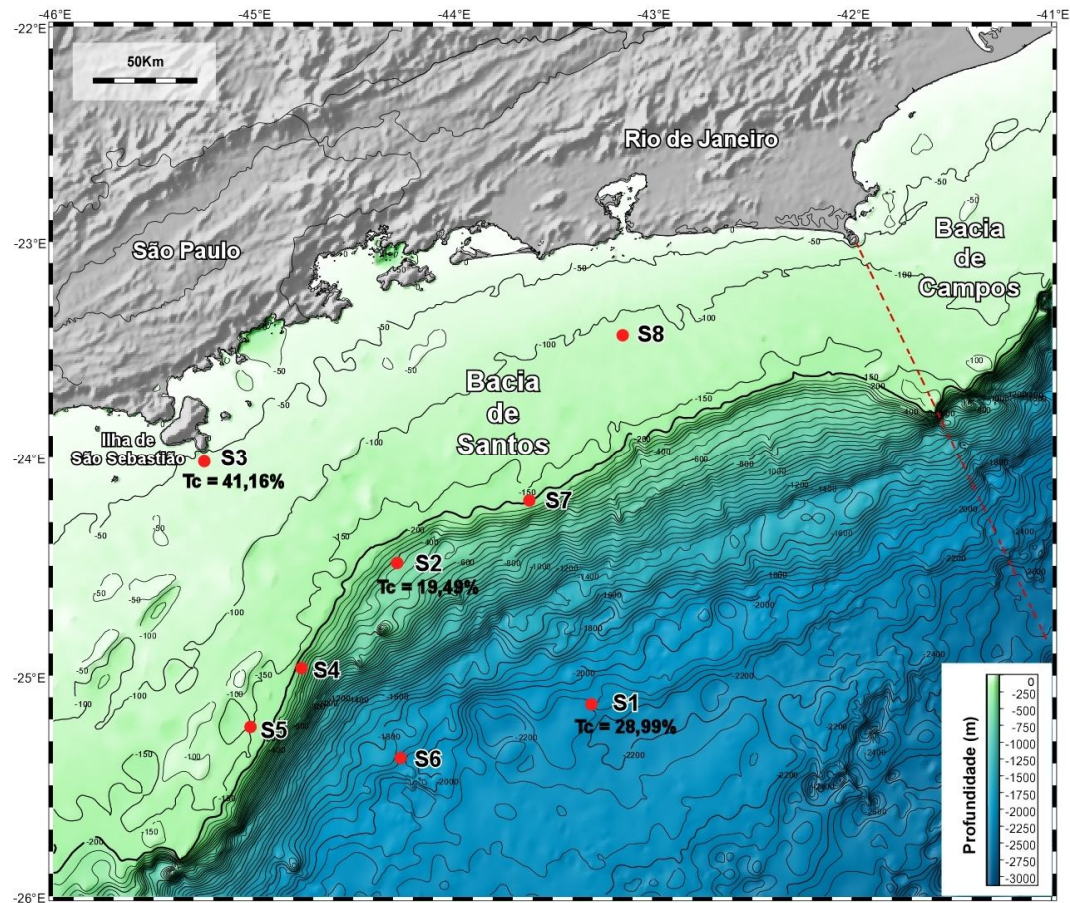


Figura 24: Mapa da área de estudo com os valores médios do teor de carbonato nos três pontos de amostragem. Mapa gerado no Programa GMT, com dados de posicionamento do GBCO.

## 6.8 - Resistência ao Cisalhamento

A distribuição de resistência ao cisalhamento não segue uma tendência entre os testemunhos, comparados com os outros parâmetros físicos (fig. 25). O mesmo tem indicado medidas singulares, podendo apenas ser relacionado com ensaio de carga

(parâmetro geotécnico). O testemunho T3 o possui o maior valor médio enquanto o testemunho T2 o menor dos valores médios encontrados.

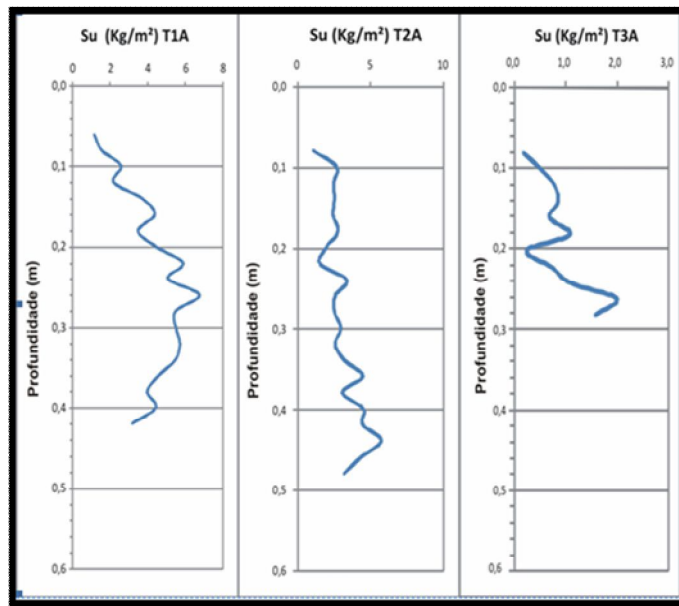


Figura 25: Perfis de Resistência ao Cisalhamento

O testemunho T1 (Fig. 25) apresenta um aumento, entre 0,06 e 0,26 m, com variações, numa faixa de 0,36 a 0,96 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Em seguida, há um decréscimo de valores até a base. Seu valor aumenta do topo pra base até mais ou menos a metade do testemunho. A partir daí ocorre o contrário, esse valor decresce. No testemunho T1 a média das medidas é 0,842. O testemunho T2 está localizado no talude superior, e possui um valor médio de 0,620  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . Os valores variam numa faixa de 0,533 a 0,90( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), sem uma ordenação definida durante todo o testemunho.

Já o testemunho T3 que possui um valor médio de 0,9  $\text{Kg}/\text{m}^2$ , tem os seus valores de resistência ao cisalhamento acompanhando a mudança litológica. Na porção onde a fração areia muito grossa é dominante, seu valor é de 0,38 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ); onde ocorre o domínio de areia muito grossa a grossa, encontra-se o valor de 0,517 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) como média; na porção

de areia grossa, o valor é  $0,553 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ ; e na porção de areia média,  $0,620 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$  (Fig. 26). Este resultado é muito semelhante ao encontrado no ensaio de carga.

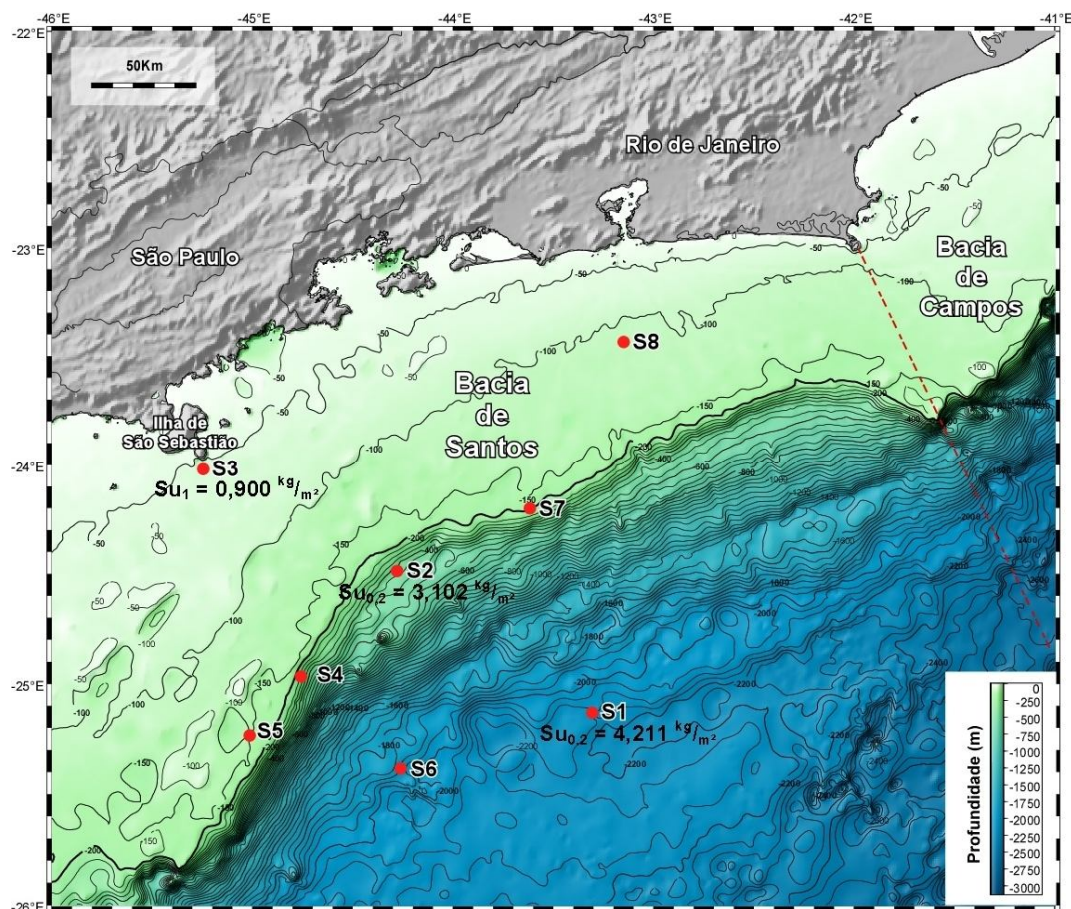


Figura 26: Mapa da área de estudo com valores médios de resistência ao cisalhamento dos três testemunhos. Mapa gerado no Programa GMT, com dados de posicionamento do GEBCO.

## 6.9 - Ensaio de Carga

No testemunho T1 o perfil possui uma variação entre 22 e 36 cm, mostrando nessa faixa possuir uma resistência maior do que no topo e na base do testemunho. O testemunho T1 possui  $0,827 \text{ Kg/m}^2$  como seu valor médio.

O testemunho T2 apresenta um aumento progressivo, relação com o aumento da profundidade, com pequenas variações durante todo o testemunho. Este testemunho possui um valor médio de  $0,352 \text{ Kg/m}^2$  sendo o mais baixo entre os testemunhos estudados.

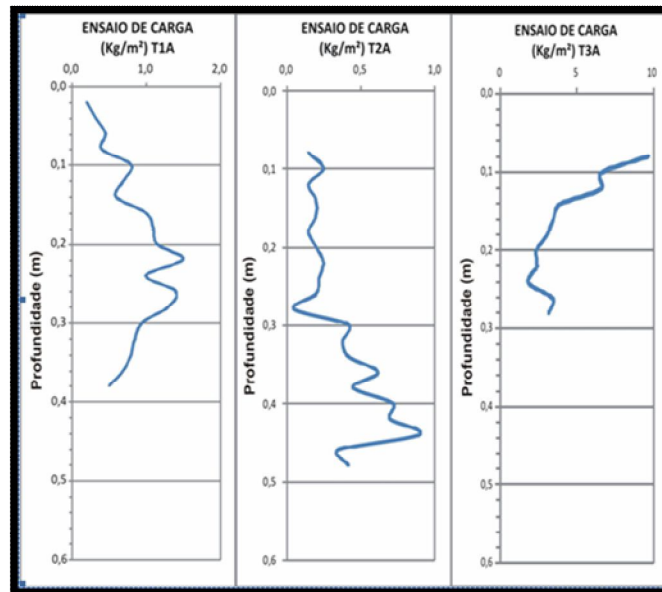


Figura 27: Perfis de ensaio de carga dos tres testemunhos estudados.

O perfil de T3 mostra uma correlação com a mudança de granulometria existente no testemunho. De 27 a 24 cm areia grossa a média encontra-se uma maior resistência. Areia grossa acima possui uma resistência menor. E na parte superior do testemunho, com areia grossa a muito grossa e uma grande presença de fragmentos de conchas, ocorre a maior resistência quanto a carga. Ocorre uma tendência semelhante quanto ao decréscimo dos valores conforme a mudança dos tipos de sedimentos (Fig. 27). Seu valor médio, assim como no perfil de resistência ao cisalhamento, possui o maior valor de ensaio de carga, correspondente a  $4,235 \text{ Kg/m}^2$  (Fig. 28).

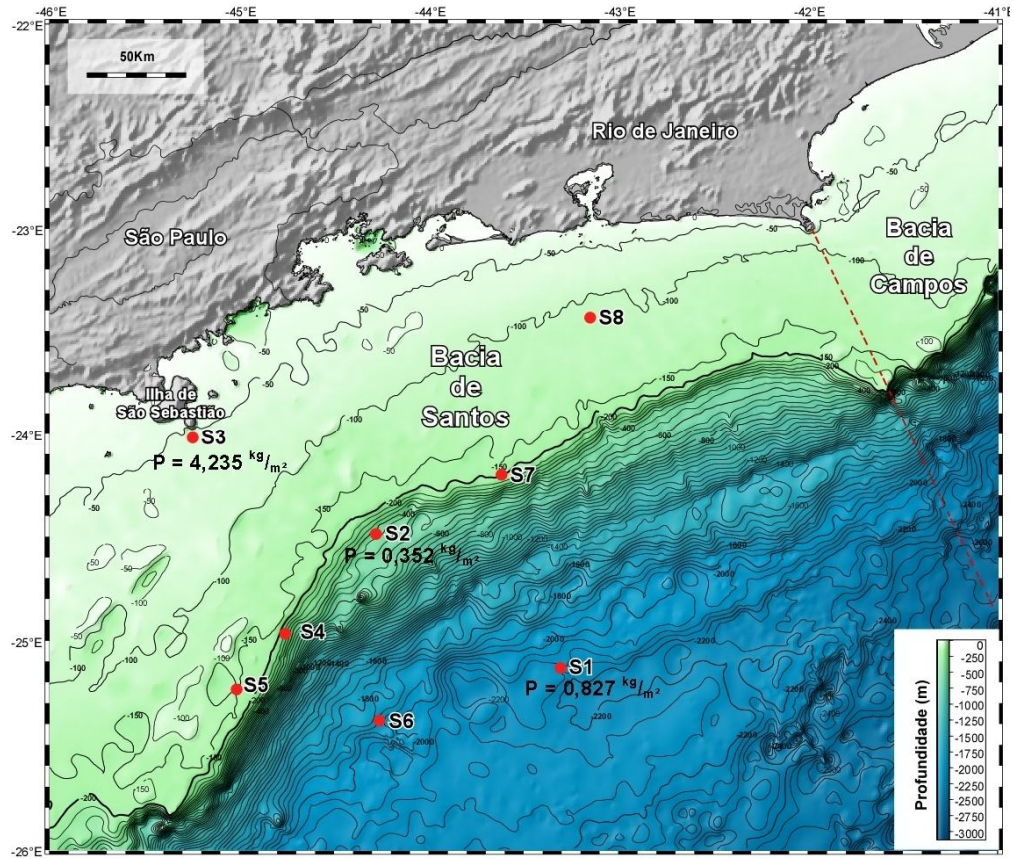


Figura 28: Mapa da área de estudo dos valores médios de ensaio de carga dos três testemunhos.  
Mapa gerado no Programa GMT, com dados de posicionamento do GEBCO.



## 7 - DISCUSSÃO

Neste capítulo será feita a correlação dos dados de Teor de Carbonato, com os outros parâmetros físicos e geotécnicos dos sedimentos anteriormente apresentados. Buscou-se correlacionar os testemunhos T1 e T2 em um único gráfico, pois apesar de apresentarem profundidades diferentes, ambos foram coletados no Talude continental e mostraram um comportamento semelhante em diversos parâmetros. De uma forma distinta, o testemunho T3, coletado na plataforma interna, possui um teor de carbonato maior do que o dos outros testemunhos, além da diferença significativa em relação à granulometria,  $V_p$ , entre outros parâmetros. Essa divisão é diferente apenas para os dados de ensaios geotécnicos, onde os testemunhos foram analisados separadamente.

Ao serem feitas as correlações entre os parâmetros analisados, observou-se um comportamento diferenciado do testemunho T2, em relação aos demais testemunhos estudados. Os dados referentes a este testemunho aparecem de uma forma agrupada em todos os gráficos, devido à distribuição dos sedimentos carbonáticos da amostra, não apresentarem uma relação com a alteração da profundidade. Esta afirmação fica evidenciada na Fig. 29. Mesmo assim, nestes gráficos, pode-se notar a influência dos carbonatos em quase todos os parâmetros estudados neste trabalho.

### 7.1 - Profundidade X Teor de Carbonato

Os testemunhos T1 e T2 diferem entre si quanto à distribuição dos sedimentos carbonáticos nas amostras. Enquanto o testemunho T1 apresenta uma distribuição linear positiva, que neste caso representa uma diminuição da concentração de carbonatos conforme ocorre o aumento da profundidade, o testemunho T2 só apresenta esse comportamento a partir dos 25cm. Na parte superior desse testemunho, é encontrado um comportamento aleatório. Essa comparação fica evidente ao se observar o gráfico abaixo (Fig. 29).

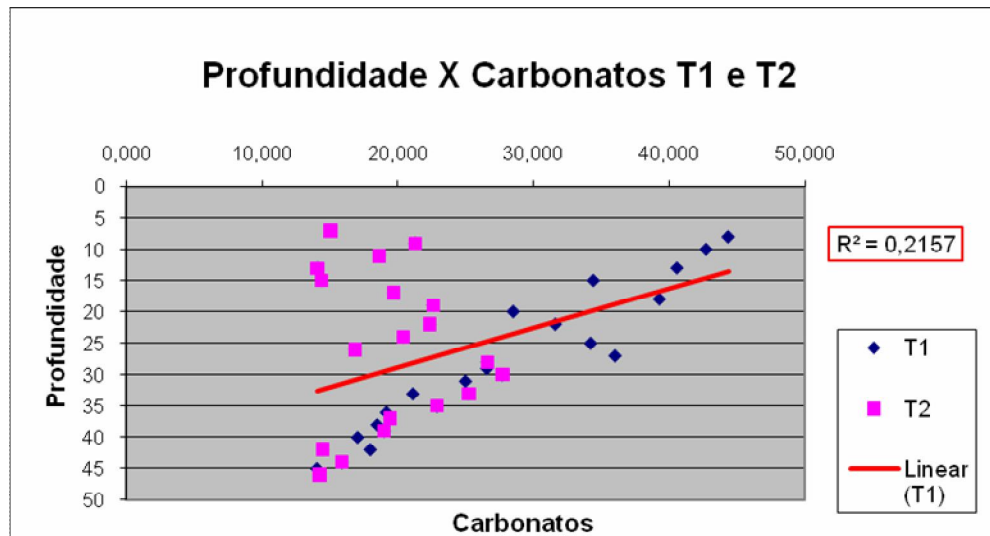


Figura 29: Gráfico de correlação entre profundidade e Teor de carbonato presentes nas amostras T1 e T2.

Durante o testemunho T3 (Fig. 30), ocorre uma mudança significativa do teor de carbonato, à medida que a profundidade aumenta. O testemunho possui uma alta concentração de carbonatos em seu topo, que diminui na proporção do aumento da profundidade. Esse testemunho mostra um comportamento bem semelhante ao encontrado no testemunho T1.

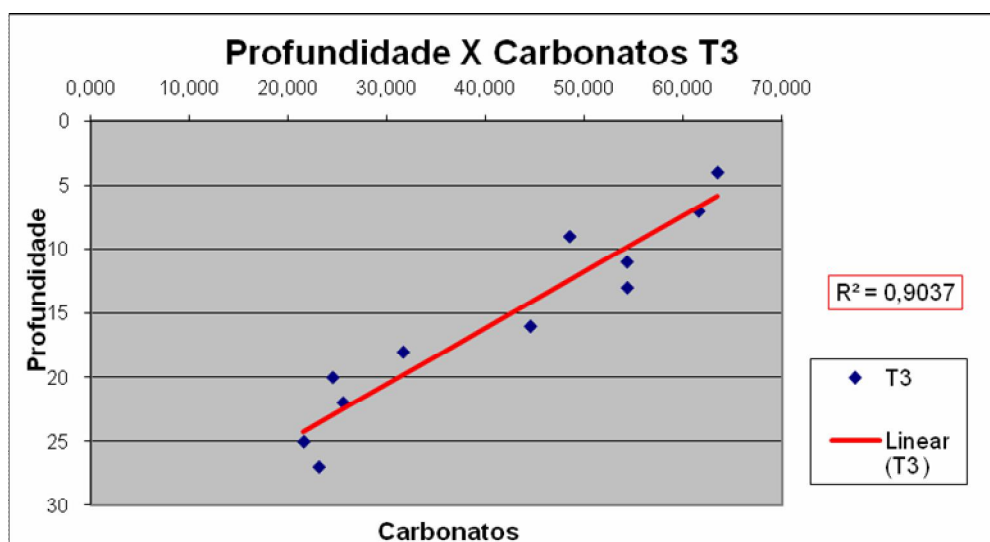


Figura 30: Relação entre a profundidade e o teor de carbonatos no testemunho T3.

## 7.2 - Granulometria x Teor de Carbonato

Os testemunhos T1 e T2 apresentam uma granulometria muito semelhante com predomínio da fração silte durante os dois testemunhos. No testemunho T1 ocorre uma diminuição do teor de carbonato conforme a profundidade aumenta. No testemunho T2, o teor de carbonato, varia durante todo o testemunho, sem seguir uma ordenação definida.

No testemunho T3 observa-se uma granulometria grossa na parte inicial do testemunho, que vai diminuindo à medida que a profundidade aumenta, exatamente como ocorre com o teor de carbonato. A granulometria varia de areia grossa no topo, com grande parte de fragmentos carbonáticos, até a fração silte já com uma percentagem bem menor de carbonatos. Essa evidência fica bem clara pela excelente correlação entre a profundidade e a porcentagem de carbonatos, anteriormente apresentados.

## 7.3 - Vp X Teor de carbonato

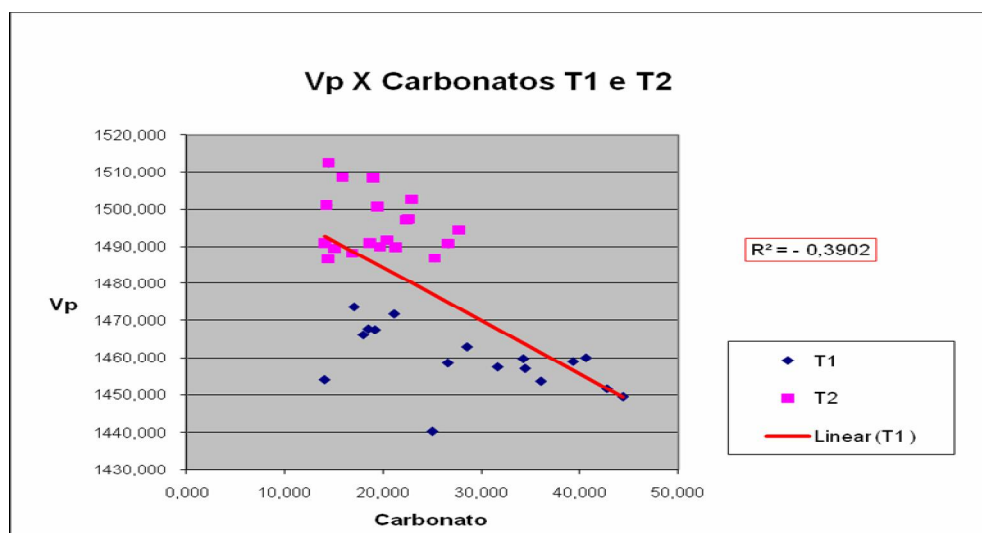


Figura 31: Gráfico de correlação entre Velocidade de ondas P e Teor de carbonato das amostras T1 e T2.

Verifica-se que todos os pontos amostrados no testemunho T2 possuem velocidades de ondas P maiores que no testemunho T1 (Fig. 31).

No testemunho T1 observa-se um comportamento praticamente linear, com o coeficiente de correlação negativo, pois com a diminuição da velocidade de ondas P, ocorre o aumento da concentração de carbonatos (Fig. 32). Nesse caso supõe-se ser devido à presença de carbonatos e ausência de água, que podem afetar a medida de Vp, atenuando-a. Já os dados do testemunho T2 encontram-se de uma forma mais agrupada. Com isso, o valor de Vp no testemunho T2 também não possui uma distribuição homogênea.

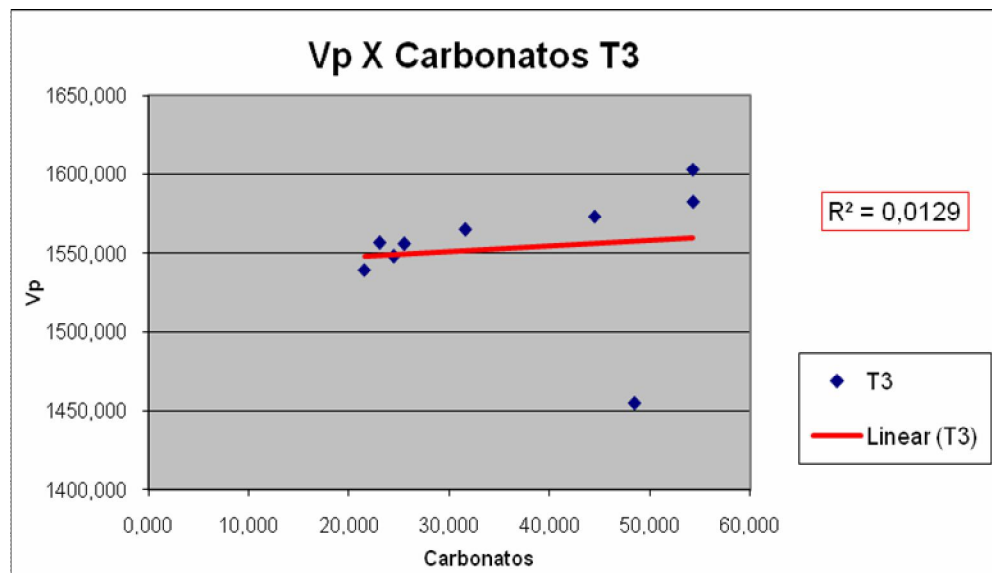


Figura 32: Distribuição do Teor de Carbonatos pela Velocidade de ondas P no testemunho T3.

Observa-se no testemunho T3 um aumento da velocidade de ondas P com o aumento do teor de carbonato. Porém, este não pode ser o fator preponderante para o aumento da velocidade, já que ocorre também uma diminuição da granulometria devido ao aumento da profundidade nesse testemunho.

#### 7.4 - Densidade X Teor de Carbonato

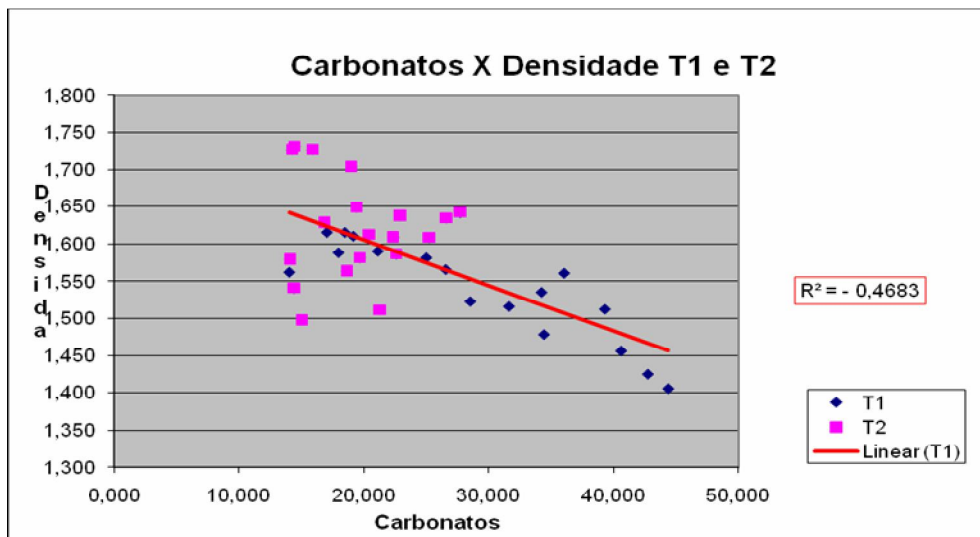


Figura 33: Gráfico de correlação entre densidade e teor de carbonato dos testemunhos T1 e T2.

No gráfico acima (Fig. 33), o testemunho T1 mostra um comportamento bastante homogêneo (linear), demonstrado por uma correlação negativa, porém o testemunho T2 encontra-se mais agrupado, ou seja, sem uma ordenação definida.

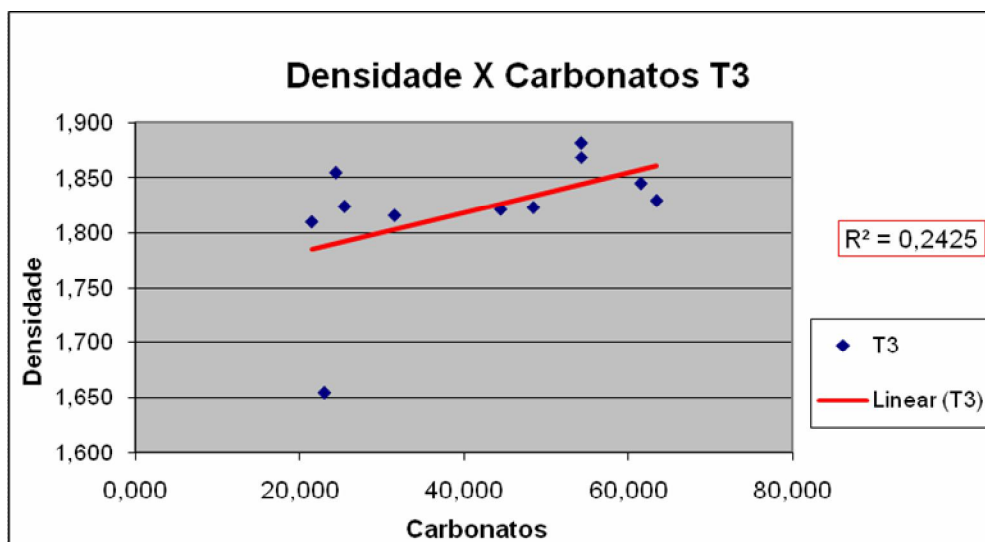


Figura 34: Gráfico de correlação entre Densidade e teor de carbonato no testemunho T3.

Verifica-se no testemunho T3 (Fig. 34) um leve crescimento da densidade, conforme o aumento do teor de carbonatos da amostra.

Existe uma diferença entre os tipos de correlação presentes nos dois gráficos, anteriormente apresentados. No gráfico dos testemunhos T1 e T2, existe uma correlação negativa, enquanto que no gráfico do testemunho T3, a correlação é positiva. Algumas explicações podem ser dadas em relação a este resultado. Pode-se atribuir à diferença entre a composição entre os sedimentos carbonáticos, ou aos sedimentos carbonáticos, ou aos sedimentos argilosos por possuírem uma densidade menor, que os sedimentos carbonáticos; ou ainda a uma grande influência granulométrica entre os testemunhos (T1, T2) e T3.

### 7.5 - Susceptibilidade magnética X Teor de Carbonato

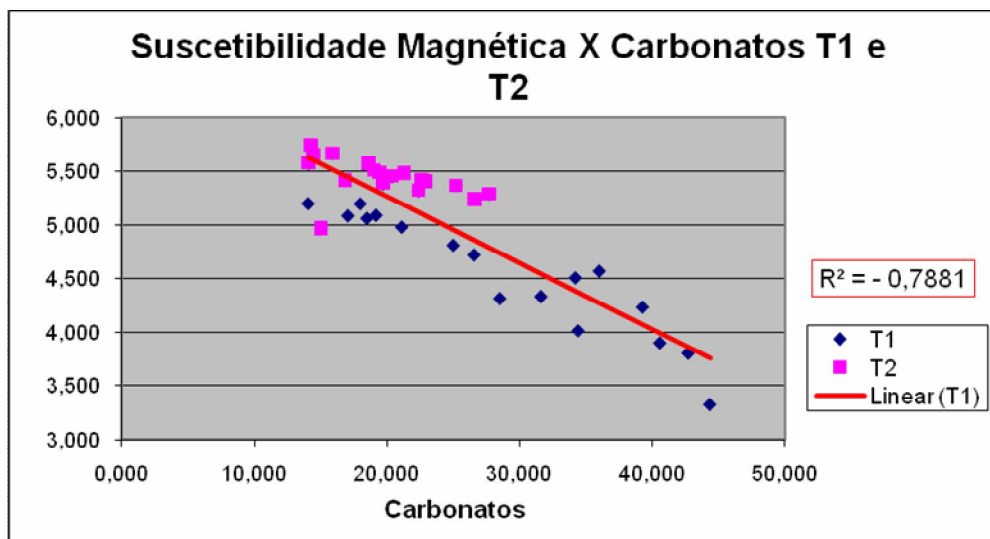


Figura 35: Gráfico de correlação entre a Susceptibilidade Magnética e o teor de Carbonato das amostras T1 e T2.

T1 e T2 possuem uma correlação bem interessante em relação à susceptibilidade magnética com o teor de carbonato (Fig. 35). Ambos apresentam um comportamento semelhante, pois o conteúdo de carbonato não varia tanto entre os dois e o resultado mostra que ocorre uma influência do carbonato nesse comportamento linear, se for comparado aos outros parâmetros já apresentados. Isso pode ser explicado pelo carbonato ser um material

diamagnético. Conforme o teor de carbonato na amostra aumenta, o valor de susceptibilidade magnética diminui.

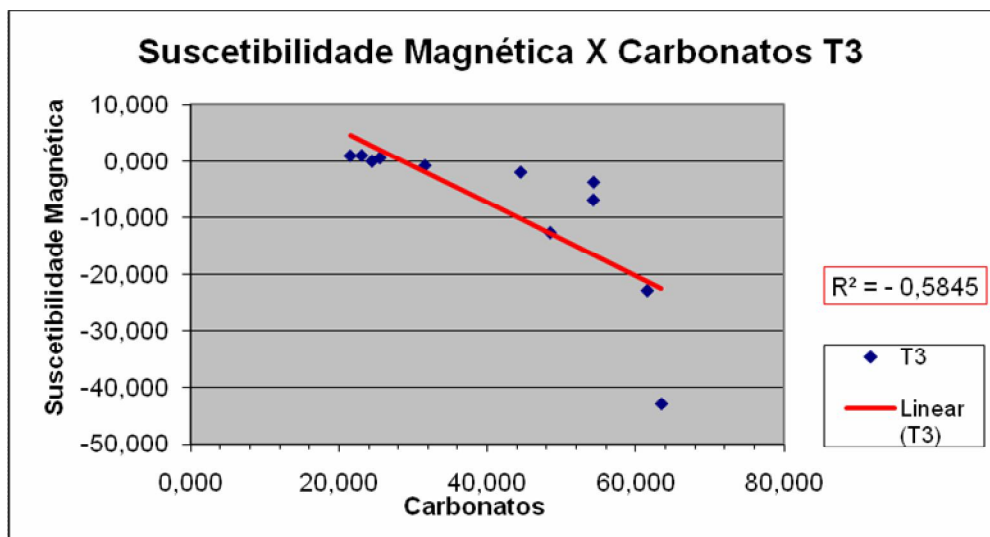


Figura 36: Gráfico de correlação entre a Susceptibilidade Magnética e o teor de Carbonato do testemunho T3.

No testemunho T3 a concentração de material carbonático é bem maior que nos testemunhos anteriores. Na parte superior da amostra há uma alta concentração de carbonatos no sedimento. A partir de 50% de material carbonático na amostra, este promove um controle muito grande sobre a susceptibilidade magnética do sedimento como um todo. Isso ocorre, porque o carbonato é diamagnético e sob uma alta concentração, se sobrepõe aos outros tipos de sedimentos encontrados na amostra. Assim, o valor de susceptibilidade diminui. Neste gráfico, observa-se que à medida que a profundidade aumenta, o teor carbonático diminui e o valor da susceptibilidade magnética aumenta. Nessa amostra, a alta percentagem de carbonato, faz com que ela controle o valor da susceptibilidade magnética na parte superior do testemunho. Por esse motivo, o valor médio da susceptibilidade magnética encontrado, nesse testemunho, é negativo.

#### 7.6 - Impedância Acústica X Teor de Carbonatos

A impedância acústica leva muito em consideração os valores de Vp e densidade e este gráfico apresenta um comportamento bem semelhante ao gráfico de densidade, com

certa influência do Vp. Porém, nota-se um coeficiente de correlação maior nos gráficos de impedância acústica do que nos gráficos de Vp.

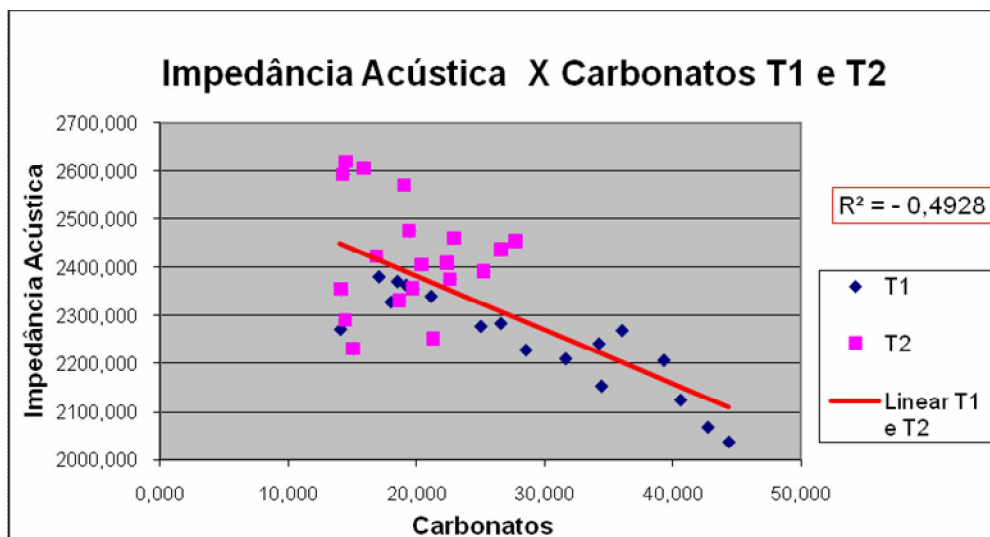


Figura 37: Gráfico de correlação entre a impedância acústica e o teor de carbonato das amostras T1 e T2.

Verifica-se neste gráfico que com o aumento do teor de carbonato na amostra T1, ocorre a diminuição do valor da impedância acústica.

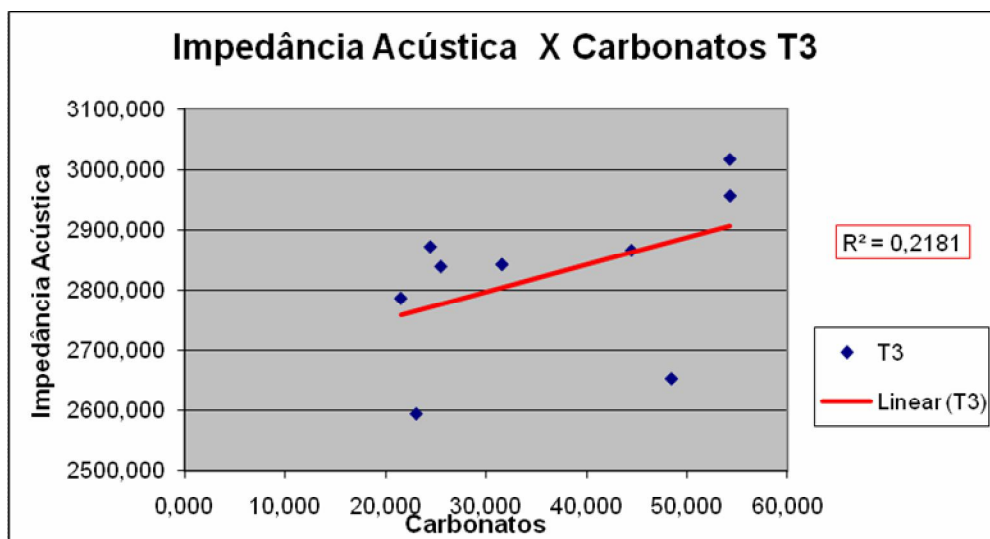


Figura 38: Gráfico de correlação entre a impedância acústica e o teor de carbonato do testemunho T3.



Neste gráfico (Fig 38) a influência do teor de carbonato é semelhante a do gráfico de densidade, assim como no T1 e T2. O mesmo acontece na comparação entre o coeficiente de correlação dos gráficos de Vp e impedância acústica. No gráfico de Vp, é observado um coeficiente de correlação negativo em T1 e T2 e uma correlação positiva no gráfico de T3.

### 7.7 - Porosidade X Teor de Carbonato

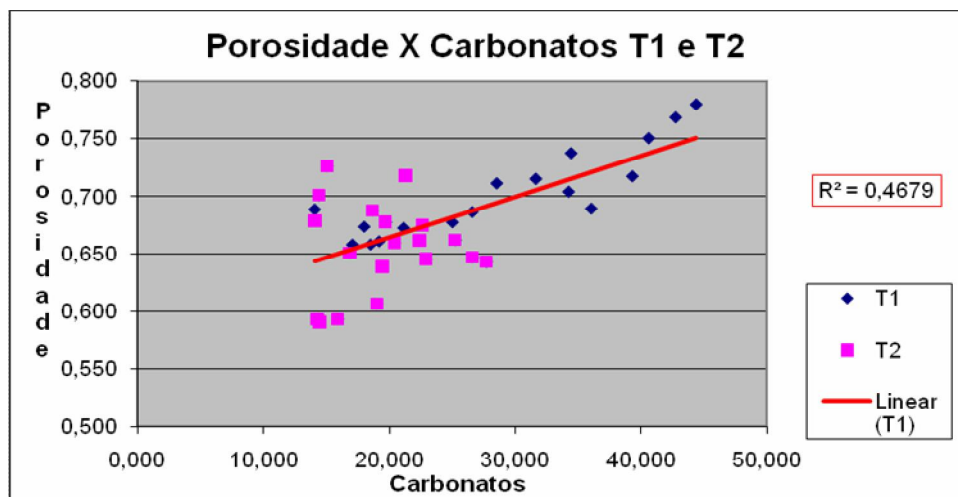


Figura 39: Gráfico de correlação entre a porosidade e o teor de carbonato das amostras T1 e T2.

O testemunho T1 apresenta uma queda no seu valor de porosidade do topo para a base, isto acontece também com a concentração de carbonatos. No testemunho T2 também se verifica um comportamento da porosidade acompanhando o que acontece com o teor de carbonato.

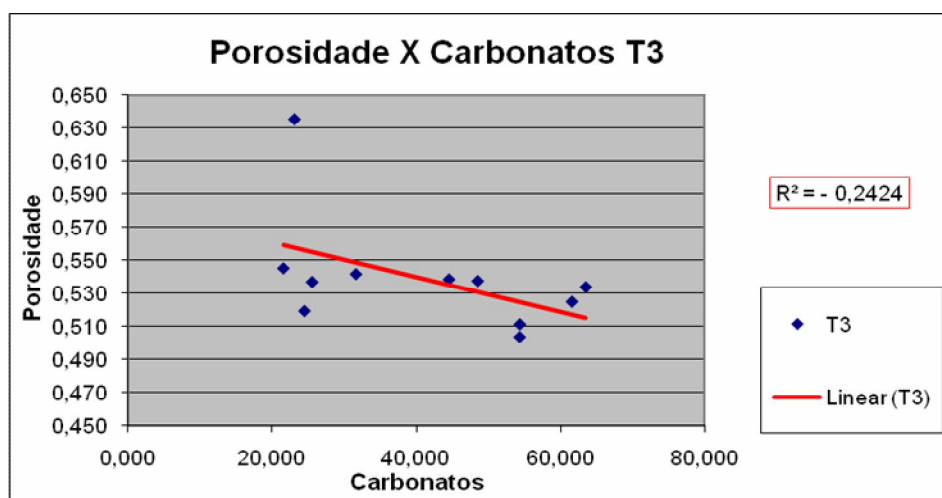


Figura 40: Gráfico de correlação entre a porosidade e o teor de carbonato do testemunho T1.

Já no testemunho T3, que possui o menor valor médio entre eles, apresenta um comportamento bem linear, com poucos pontos de exceção.

### 7.8 - Ensaio de Carga X Teor de Carbonato

Os ensaios geotécnicos (Ensaio de Carga e de Resistência ao Cisalhamento) foram analisados e são apresentados separadamente, devido a não apresentarem um grau de correlação entre eles, e os seus conteúdos de carbonato.

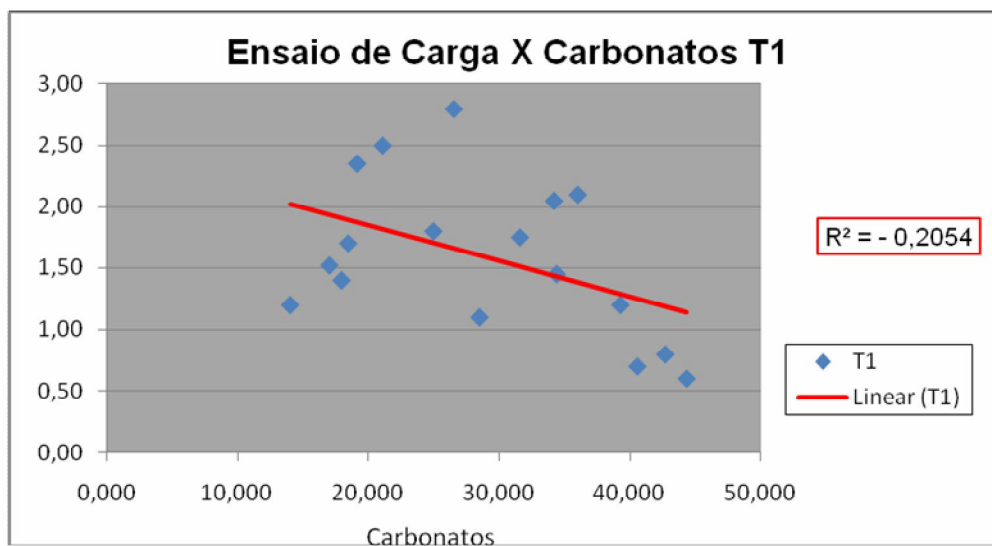


Figura 41: Gráfico de correlação entre o ensaio de carga e o Teor de Carbonato do testemunho T1.

No testemunho T1 foi encontrada uma correlação negativa, ou seja, quanto maior o conteúdo de carbonato na amostra, menor resistência o material oferece à carga imposta sobre sua superfície. Vale ressaltar que nesse testemunho e no testemunho T2 (que será apresentado adiante)(Fig. 42) os carbonatos estão presentes na fração silte, enquanto que no testemunho T3, a fração carbonática está presente na sua maioria na fração cascalho e areia grossa.

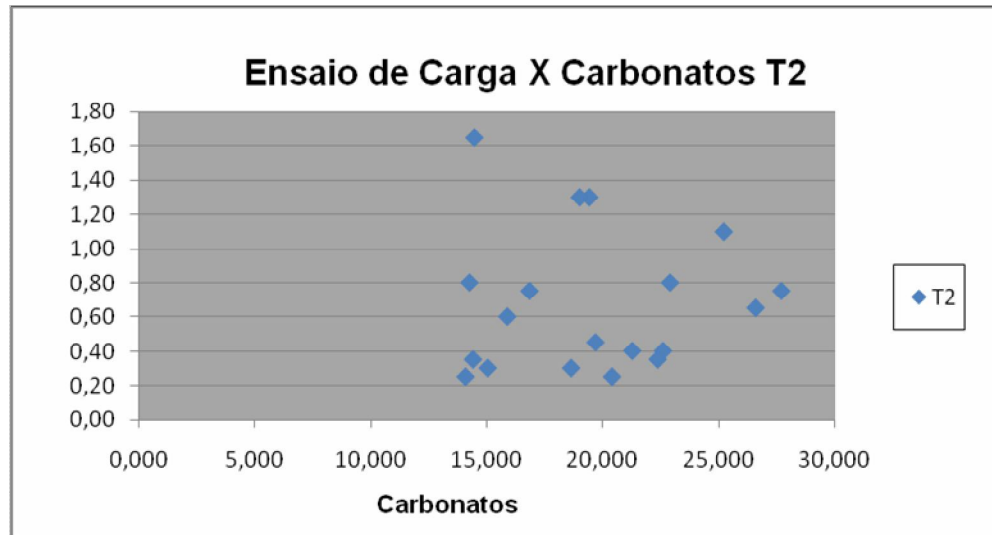


Figura 42: Gráfico de correlação entre o ensaio de Carga e o Teor de carbonato do testemunho T2.

O testemunho T2 mostra um comportamento completamente aleatório, não possuindo uma relação bem definida com o conteúdo carbonático. Esse comportamento não acompanha o da granulometria e nem possui relação com qualquer outro parâmetro físico ou geológico estudado neste trabalho.

Vale ressaltar que nenhum tipo de regressão, seja ela Linear, Logarítmica, Exponencial, aplicada a esses dados, apresentou resultados satisfatórios, ou seja, ficou claramente evidenciado que esses dados não se mostraram correlacionáveis, ou seja, não possuíam uma distribuição homogênea entre si, diferentemente dos dois outros testemunhos deste estudo.

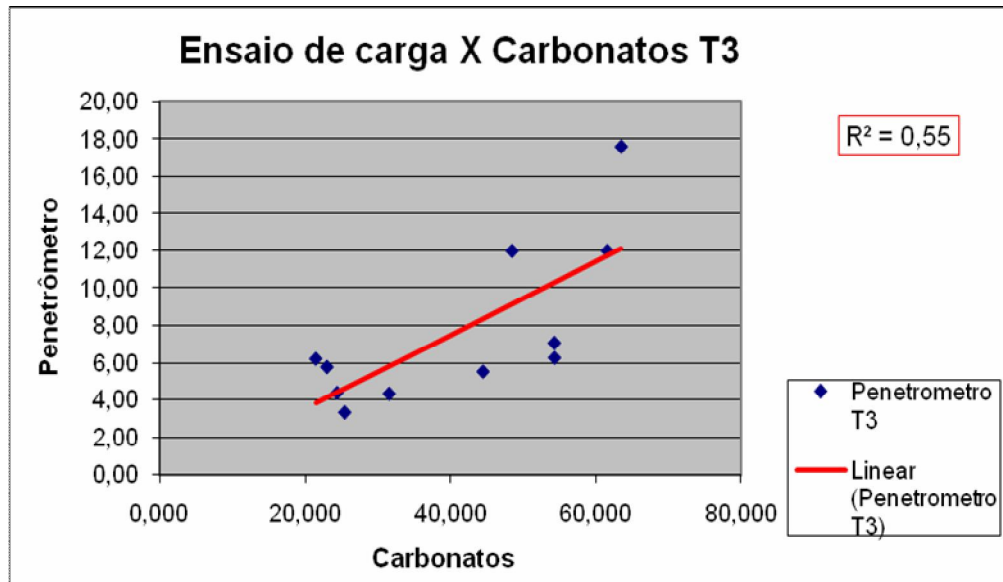


Figura 43: Gráfico de correlação entre o ensaio de carga e o teor de carbonato do testemunho T3.

Já o testemunho T3 por possuir um maior conteúdo carbonático, além de estar em frações maiores em sua porção superior, encontra uma linearidade maior e uma boa correlação com o ensaio de carga. O gráfico mostra que, quanto maior o teor de carbonato, mais difícil a penetração no sedimento, ou seja, uma correlação positiva. Esse fato também se deve ao aumento da granulometria do sedimento coincidir com o aumento do teor de carbonato das amostras, mostrando assim, uma menor deformação sedimentar, com o aumento da granulometria.

### 7.9 - Resistência ao Cisalhamento X Teor de Carbonato

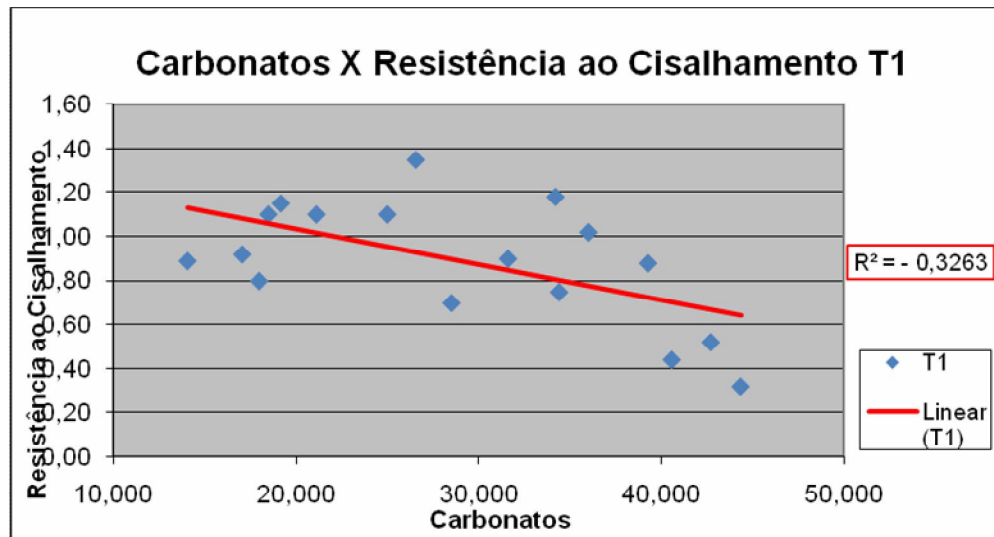


Figura 44: Gráfico de correlação entre os valores de Resistência ao Cisalhamento e teor de carbonato do testemunho T1.

Neste gráfico (Fig. 44) pode-se observar que quanto maior a quantidade de carbonatos na amostra, menor a resistência ao cisalhamento da amostra. Um comportamento bem semelhante ao encontrado no teste de ensaio de carga. Possui uma correlação negativa, com os dados apresentando certa linearidade no decorrer da amostra.

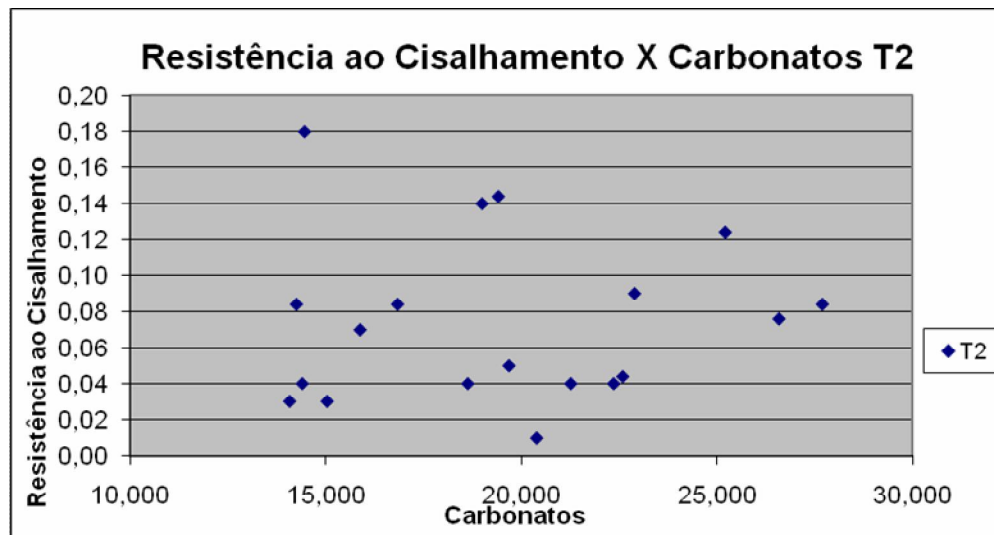


Figura 45: Gráfico de correlação entre a resistência ao cisalhamento e o teor de carbonato do testemunho T2.

Assim como o gráfico de Ensaio de carga, a resistência ao cisalhamento do testemunho T2 (Fig. 45) não apresenta uma ordenação definida com relação ao Teor de

Carbonato e nem existe uma tendência de mudança dos valores em relação à granulometria ou outro parâmetro geológico. Os valores estão dispostos de uma maneira aleatória, o que não possibilitou a realização de qualquer tipo de regressão neste testemunho.

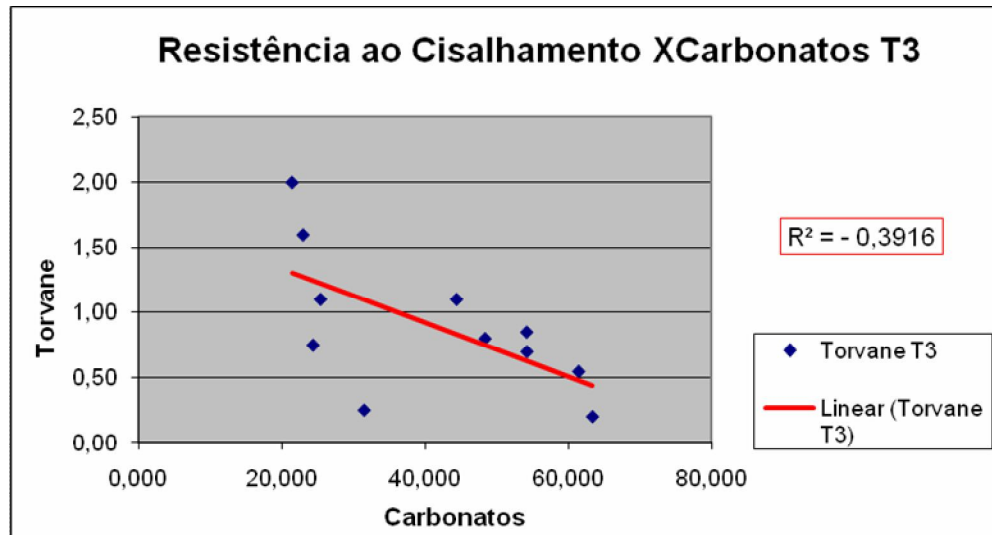


Figura 46: Gráfico de correlação entre o torvane e o teor de carbonato do testemunho T3.

No gráfico do testemunho T3 já é possível encontrar uma correlação, mesmo que seja com pouca significância, porém é contrária a encontrada no ensaio de carga. Quanto maior o conteúdo carbonático, menos resistente ao cisalhamento é o material.

O material carbonático encontrado neste testemunho está basicamente situado no topo da amostra, e se desprende do sedimento com grande facilidade. À medida que a profundidade vai aumentando, o conteúdo carbonático vai diminuindo, porém a sua resistência ao cisalhamento aumenta. Esse testemunho possui uma granulometria bem grosseira, que diminui conforme a profundidade aumenta.

## 8 - CONCLUSÃO

Neste trabalho são estudados três testemunhos, que foram coletados na porção central da Bacia de Santos em três diferentes províncias morfológicas (Plataforma continental, Talude Superior e Talude Inferior) com profundidades de 70m, 415m e 2104m respectivamente.

Realizaram-se testes e ensaios nos sedimentos coletados, e realizadas conseqüentemente correlações dos seguintes parâmetros físicos (velocidade de onda P, densidade, susceptibilidade magnética, impedância acústica, porosidade, granulometria, resistência ao cisalhamento e ensaio de carga), com o teor de carbonato presente nos testemunhos.

Todos os resultados mostraram-se coerentes, visto que, somente pequenas alterações foram necessárias para o melhor desenvolvimento do trabalho. A partir da conclusão de todas as etapas do trabalho e posterior integração dos resultados, podem-se encontrar explicações para alguns fenômenos que foram observados na pesquisa. Esses resultados são usados para detalhar as relações entre as propriedades físicas e os parâmetros geoacústicos. Desta forma, integram-se a metodologias e ferramentas que auxiliam o aperfeiçoamento da modelagem geoacústica de ambiente marinho.

Através da discussão do capítulo anterior, foram determinadas as principais diferenças entre os testemunhos e posterior influência do teor de carbonato nos parâmetros físicos das amostras estudadas.

Uma diferença significativa de granulometria entre os testemunhos T1 e T2 com o testemunho T3, com sedimentos finos nos primeiros, e sedimentos com uma granulometria grossa no T3. Essa explicação pode ser dada através das profundidades e regiões no oceano, onde as amostras foram coletadas.

Notou-se uma forte correlação entre os dados do teor de carbonato e a profundidade em dois dos três testemunhos estudados. Também se encontrou uma forte influência da

granulometria na presença de carbonatos nos testemunhos. Conforme a granulometria era maior, a presença de carbonatos também se mostrava maior.

A densidade dos sedimentos que possuíam um maior teor de carbonato se mostrou maior do que os sedimentos cuja presença de carbonato não era tão notável. Isso pode ser considerado se for levado em consideração à densidade do mineral carbonático maior do que a do material de matriz argilosa. Um exemplo é dado pela Calcita e Aragonita, que são materiais de matriz carbonática e respectivamente possuem 2,72 e 2,95 g/cm<sup>3</sup> como valores de densidade. Já a Montmolinolita e a Caolinita, minerais de matriz argilosa, possuem valores de densidade de 2,5 e 2,6 g/cm<sup>3</sup> respectivamente.

A impedância acústica é um parâmetro que resulta da combinação dos valores de velocidade de ondas P e densidade e seus resultados foram muito bons levando em consideração esse parâmetro. Os coeficientes de correlação são maiores quando correlacionados com a impedância do que com Vp ou densidade somente.

Na porosidade dos sedimentos, verificou-se uma diminuição do seu valor com o aumento da granulometria e conseqüente aumento do teor de carbonatos.

Na susceptibilidade magnética houve uma grande influência do teor de carbonato, muito bem evidenciada nos gráficos apresentados. Por se tratar de um material diamagnético, a presença de carbonato faz com que se diminua o valor da susceptibilidade magnética no sedimento. Para teores de carbonato superiores a 50% as propriedades diamagnéticas deste mineral se impõem sobre os minerais de argila, gerando sedimentos com valores de susceptibilidade magnética negativa.

Os parâmetros geotécnicos são muito particulares quando comparados aos outros parâmetros físicos. De certa forma é interessante correlacioná-los com mais parâmetros geotécnicos, podendo identificar outras classificações. Neste trabalho observou-se que o aumento da quantidade de carbonatos aliado a uma granulometria maior, gerando uma resistência a carga maior do que sedimentos finos com quantidades de carbonatos semelhantes. Porém, esses sedimentos mais grossos, possuem uma menor resistência ao cisalhamento, do que os sedimentos finos. Portanto, através da análise dos parâmetros



físicos e a posterior correlação com os dados de teor de carbonato nas amostras, é possível definir este processo como mais uma ferramenta de auxílio à modelagem geoacústica do fundo marinho, com a resposta e o comportamento dos sedimentos marinhos superficiais saturados.

## 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. P: 411-421.
- ASSINE, M.L., CORRÊA, F.S., & CHANG, H.K. (2008) - Migração de depocentros na Bacia de Santos: importância na exploração de hidrocarbonetos.
- AYRES, A. & THEILEN, F. (1997) - Seismische Wellen Geschwindigkeit im Oberflächlichen Marinen Sedimente. DAGA/97, Kiel, Germany.
- AYRES, A. & THEILEN, F. (1997) - Relationship between Seismic Velocities and Sediment Properties of Near Surface Marine Sediments. 22<sup>nd</sup> Annual Meeting of the European Geophysical Society, Vienna, Austria.
- AYRES, A. & THEILEN, F. (1998) - Physical Properties versus Engineering and Environmental Parameters of Marine Sediments. 60<sup>th</sup> Conference and Technical Exhibition of the European Association of Geoscientists and Engineers, Leipzig, Germany.
- AYRES NETO A. (1998) - Relationships between physical properties and sedimentological parameters of near surface marine sediments and their applicability in the solution of engineering and environmental problems. Kiel, 1998. Tese de Doutorado - Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch - Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. 125 p.
- AYRES, A. & THEILEN, F. (1999) - Relationship between Seismic Velocities and Geological and Geotechnical Properties of Near Surface Marine Sediments of the Continental Slope of the Barents Sea. Geophysical Prospecting, Vol 47, No. 4 . Pag: 431 - 441.
- AYRES NETO, A. (2000) - Sísmica de Reflexão de Alta Resolução e Sonografia na Exploração Mineral Submarina - *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol. 18(3), 2000.
- AYRES, A. & THEILEN, F. (2001) – Preliminary Laboratory Investigations of the Attenuation of Compressional and Shear Waves on Near Surface Marine Sediments. Geophysical Prospecting, Vol. 49. Pag: 120-127.

- AYRES, A. & SILVA, B.A. (2006) - Geofísica e Geotecnia – Integração de Métodos na Determinação de Diretrizes de Dutos Submarinos. 13th Brazilian Congress of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Curitiba, Brazil.
- BAPTISTA NETO, J. A., PONZI, V. R. A. e SICHEL, S. E. (Organizadores) (2004). Introdução à geologia marinha. Editora Interciência, 1a edição, 279 p .
- BREITZKE, M & SPIESS, V. (1991) – Imaging the physical properties of deep sea sediments: a comparison between narrow-beam echosounding surveys and Laboratory measurements on sediment cores. In Weydert, M. (Ed.) European Conference on Underwater Acoustic. P: 505-508.
- CHANG, H. K. CORRÊA, F. S. & DE MIO, E. (2005) – Integração de Métodos Geofísicos na modelagem Crustal da Bacia de Santos. Revista brasileira de Geofísica (2005) 23 (3) P:275-284
- CHANG, H. K.; KOWSMANN, R. O.; FIGUEIREDO, A. M. F. (1990) - Novos Conceitos sobre Desenvolvimento das Bacias Marginais do Leste Brasileiro. In: Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. G. P. Raja Gabaglia & E. J. Milani (coords.). Petrobrás. pp: 269-285.
- CHAPMAN, R.E.(1995) - Physics for Geologists. UCL Press Limited, London. 143 pp
- COLLINS, W.T. & RHYNAS, K.P. (1998) - Acoustic Seabed Classification using Echo Sounders: Operational Considerations and Strategies. In Anais Canadian Hydrographic Conference- 1998, Victoria, Canadá.
- DIAS, G. T. M. (1996) - Classificação de sedimentos marinhos: proposta de representação em cartas sedimentológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39. 1996, Salvador. Anais Salvador, SBG. V.3, p.423 – 426.
- FARIA, C.C. (2000) - Estudo de Materiais Pela Técnica de Suscetibilidade Magnética AC. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no. 3, Setembro, 2000.
- FIGUEIREDO JUNIOR, A. G. & TESSLER, M. G., (2004) - Topografia e Composição do substrato marinho da região Sudeste Sul do Brasil. In Serie Documentos REVIZEE – Score Sul , 2004. Parte 4, p:18.

- FIGUEIREDO JUNIOR, A. G. & MADUREIRA, L. S. P., (2004) - Topografia, Composição e Refletividade do substrato marinho e identificação das províncias sedimentares na região Sudeste-Sul do Brasil. In Serie Documentos REVIZEE – Score Sul, 2004. Parte 2, p: 36-41; Parte 3, p: 46-51; Parte 5, p: 61-62.
- FOOKES, P.G. (1988) - The Geology of carbonate soils and rocks and their engineering characterization and description - Int. Conf. on Calcareous Sediments, Perth, Vol. 2, pp. 787-806
- GEOTEK Multi Sensor Core Logger systems (MSCL): General product overview and price guide, 2007. Geotek Ltda.
- HAMILTON, E. L. (1980) – Geoacoustic modeling of the seafloor. J. Acoust. Soc. Am., Vol 68, n° 5. P: 1313-1340
- 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
- KEMPF, M. (1972) - A plataforma continental da costa leste brasileira entre o Rio São Francisco e a Ilha de São Sebastião (10°30' – 25° lat. S.): Notas sobre os principais tipos de fundos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26. Belém. Anais de São Paulo, SBG, 1972. 3 v. v. 2, p. 211 – 34.
- KORMANN, A.C.M. (1993) - Comportamento de estacas durante a cravação em areia calcária - Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 212 p.
- KOWSMANN, R.O. & COSTA, M.P.A. (1974) - Interpretação de testemunhos coletados na margem continental sul brasileira durante a Operação GEOMAR VI. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28. Porto Alegre. Anais, São Paulo, SBG, 7 v. v. 3, p. 297-304.
- KOWSMANN, R.O. & COSTA, M. P. A., (1979) - Sedimentação Quaternária da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. Projeto Remac. Petrobras v. 8, p. 26-28.

- LARSONNEUR, C., (1977) - La Cartographie des Dépôt Meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche. J. Rech. Oceanogr., v. 2, p. 34–39,
- LIMA, A.J. (2007) – Análise de Dutos Submarinos Sujeitos a Vibrações Induzidas por Vórtices. COPPE/UFRJ, M.Sc. Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE - XV, 120 p.
- MACEDO, J. M. (1990) - Evolução Tectônica da Bacia de Santos e Áreas Continentais Adjacentes. In: Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. G. P. Raja Gabaglia & E. J. Milani (coords.). Petrobras. pp.361-376
- McCARTHY, F. M. G., et al. (2004). The micropaleontological character of anomalous calcareous sediments of late Pliocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 215. Elsevier B.V. 1–15
- MESQUITA, A. C. F. (1995) - Microestratigrafia do Oligoceno - Pleistoceno na porção centro-norte da bacia de Santos, com base em foraminíferos planctônicos. Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 120 p.
- MILANI, E. J.; BRANDÃO, J. A. S. L.; ZALÁN, P. V. & GAMBOA, L. A. P. (2000) - Petróleo na Margem Continental Brasileira: Geologia, Exploração, Resultados e Perspectivas, *Brazilian Journal of Geophysics*, 18(3): 351- 395.
- MOHRIAK, W.V. (2003) - Bacias sedimentares da Margem Leste Continental Brasileira. Bizzi, L.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R.M; Gonçalves, J.H. (eds.). In. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM.
- PEREIRA, M.J. & FEIJÓ, F.J. (1994) - Bacia de Santos. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8(1):219-234.
- ROCHA, J.M.; MILLIMAN, J.D.; SANTANA, C.I.; VICALVI, M.A. (1975) - Southern Brazil. *Contributions to Sedimentology*. Upper Continental Margin Sedimentation off Brazil. Stuttgart, 4: 117 – 50.

- SHERIFF R.E. (1999) - Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics. Society of Exploration Geophysicists, Third Edition, 384 p.
- SOLANO, R.F., GENAIO, M.C., AYRES, A & CEZAR, G.S. (2007) - Design and Installation Challenges of Jubarte Gas Pipeline in the Shore Approach Area. 17<sup>TH</sup> Isope Conference, Lisboa.
- TAO, G., KING, .S., & NABI-BIDHEDI, M., (1995) - Ultrasonic Wave propagation in dry and Brine-Saturated Sandstones as Function of Effective Stress: Laboratory measurements and Modeling. Geophysical Prospecting, Vol. 43. P: 299-327
- THEILEN, F. AYRES, A. & LANGE, G. (1997) - Physical Properties of Near Surface Marine Sediments. 59<sup>th</sup> Conference and Technical Exhibition of the European Association of Geoscientist and Engineers, Geneva Switzerland.
- VICALVI, M.A. & MILIMAN, J.D. (1977) - Calcium carbonate sedimentation on continental shelf off Southern Brazil, with special reference to benthic foraminifera. In: FROST, S.H. et al, eds. Reefs and Related Carbonates. Ecology and Sedimentology. Tulsa, Okla., The Am. Assoc. Petrol. Geol., 1977. p.313-28. (Studies in Geology, n. 4).
- WOODS R.D., (1991) - Soil Properties for Shear wave Propagation. In Hoven, J.M. et al. (Eds), Shear Wave in Marine Sediments. P: 29-39

**APÊNDICE 1**

Tabelas com os valores de Velocidade de ondas P dos testemunhos estudados.

Testemunho T1	
Profundidades (cm)	Velocidade de onda P(m/s)
2	
4	1469,732
6	1449,559
8	1451,734
10	1460,006
12	1457,16
14	1459,011
16	1462,921
18	1457,568
20	1459,765
22	1453,795
24	1458,622
26	1440,351
28	1471,758
30	1467,505
32	1467,757
34	1473,636
36	1466,143
38	1454,205
40	1457,182
42	1454,804
44	1387,8995
46	1320,995
48	1516,192

Testemunho T2	
Profundidades (cm)	Velocidade de onda P(m/s)
8	1489,596
10	1489,887
12	1490,987
14	1491,001
16	1486,704
18	1490,032
20	1497,478
22	1497,329
24	1491,719
26	1488,26
28	1490,821
30	1494,526
32	1486,916
34	1502,676
36	1500,687
38	1508,441
40	1512,469
42	1508,678
44	1501,147
46	1494,213
48	1492,233
50	1485,272



Testemunho T3	
Profundidades (cm)	Velocidade de onda P(m/s)
10,2	1301,019
12,2	1255,347
14,2	1455,458
16,2	1602,999
18,2	1582,655
20,2	1573,149
22,2	1564,998
24,2	1548,496
26,2	1556,133
28,2	1539,595
30,2	1556,85
32,2	1557,089
34,2	1574,823
36,2	1562,92

Tabelas com os valores de Granulometria dos testemunhos estudados.

Testemunho T1			
Profundidades (cm)	Silte(%)	Argila(%)	Areia (%)
0	75,2	12,1	12,8
3	77,1	10,1	12,7
6	80,4	10,9	8,8
8	78,3	10,7	10,9
10	78,3	10,5	11,2
13	76,1	10,2	13,7
15	76,5	10,9	12,7
18	73,5	10,7	15,9
20	75,9	11,1	13
22	74,4	12,4	13,3
25	75,4	10,6	15
27	76,8	10,7	12,6
29	80,3	10,6	9
31	79,9	11,8	8,3
33	82,6	11	6,3
36	81,9	11,4	6,8
38	80,9	10,8	8,3
40	81,6	10,4	7,9
42	83,3	10,6	6
45	82,8	10,6	6,5

Testemunho T2				
Profundidades (cm)	Silte(%)	Argila(%)	Areias (%)	Cascalho(%)
7	77,4	6,7	16	0
9	74,6	6,2	19,1	0
11	74,5	6,5	19	0
13	72,1	6,7	20	0,1
15	69,4	5,6	24,9	0,1
17	72,1	6,3	21,4	0,1
19	67,1	6,4	26,3	0
22	69,8	6,2	23,8	0,1
24	69	5,4	25,7	0,1
26	61,1	5,8	32,7	0,3
28	72,6	6,3	21,1	0,1
30	69,2	5,6	25,2	0,1
33	68,8	5,7	25,4	0
35	67,4	5	27,4	0,1
37	68	5,4	26,5	0,1
39	71,1	5,5	23,3	0
42	71,4	5,6	22,9	0
44	70,6	5,9	23,3	0,1
46	68,8	5,7	25,4	0
48	70,3	5,5	24,2	0,1
50	70,2	5,2	24,4	0,1

Testemunho T3				
Profundidades (cm)	cascalho (%)	Areias (%)	Silte (%)	Argila (%)
4	54,3	43,6	2,4	0,7
7	59,5	36,2	6,3	1
9	62,1	32,6	5,1	1,2
11	56	32,9	9,6	1,5
13	41,23	41,4	15,66	1,8
16	46,58	37,2	15,62	1,35
18	40,9	36,5	21,06	1,9
20	23,4	52,3	22	2,3
22	22,3	50,89	24,65	2,6
25	17,5	56,5	22,3	3,1
27	10,2	64,2	26,34	2,6
29	9,66	58	30,1	2,4
32	7,8	60,7	29,4	2,1
34	4,5	66,3	30,2	0

Tabelas com os Valores de Carbonatos dos testemunhos estudados.

Profundidades	Testemunho T1			
	Peso Seco c/ carbonato	Peso sedimento s/ carbonato	Peso de carbonato	Porcentagem de carbonatos
2cm	7,757	5,966	1,791	23,089
4cm	9,718	6,687	3,031	31,190
6cm	14,048	9,715	4,333	30,844
8cm	8,270	4,602	3,668	44,353
10cm	17,846	10,222	7,624	42,721
12cm	14,371	8,539	5,832	40,582
14cm	11,232	7,367	3,865	34,411
16cm	11,232	6,781	4,451	39,281
18cm	14,349	10,258	4,091	28,511
20cm	12,512	8,557	3,955	31,610
22cm	7,880	5,127	2,753	34,213
24cm	11,203	7,168	4,035	36,017
26cm	13,417	9,854	3,563	26,556
28cm	13,978	10,485	3,493	24,989
30cm	9,261	7,306	1,955	21,110
32cm	20,821	16,832	3,989	19,159
34cm	18,459	15,048	3,411	18,479
36cm	14,419	11,962	2,457	17,040
38cm	23,279	19,096	4,183	17,969
40cm	14,462	12,432	2,03	14,037

Testemunho T2				
Profundidades	Peso Seco c/ carbonato	Peso sedimento s/carbonato	Peso de carbonato	Porcentagem de carbonato
2cm	11,955	9,688	2,267	18,963
4cm	13,507	11,369	2,138	15,859
6cm	10,023	7,733	2,290	22,847
8cm	13,824	11,745	2,079	15,039
10cm	13,141	10,346	2,795	21,269
12cm	14,51	11,806	2,704	18,635
14cm	11,129	9,562	1,567	14,080
16cm	10,9	9,330	1,570	14,404
18cm	14,024	11,263	2,761	19,688
20cm	16,189	12,531	3,658	22,596
22cm	18,162	14,100	4,062	22,365
24cm	12,453	9,913	2,540	20,397
26cm	19,815	16,478	3,337	16,841
28cm	17,943	13,179	4,764	26,59
30cm	18,187	13,149	5,038	27,701
32cm	18,551	13,873	4,678	25,217
34cm	22,68	17,487	5,193	22,897
36cm	15,496	12,487	3,009	19,418
38cm	22,804	18,471	4,333	19,001
40cm	9,937	8,527	1,410	14,461
42cm	13,272	11,164	2,108	15,883
44cm	13,337	11,436	1,901	14,254
46cm	11,936	9,430	2,506	20,995
48cm	9,418	7,707	1,711	18,167
50cm	8,851	7,499	1,352	15,275

	Testemunho T3			
Profundidades	Peso seco c/ carbonato	Peso sedimento s/carbonato	Peso de Carbonato	Porcentagem de carbonato
2cm	27,043	11,517	15,526	57,412
4cm	17,505	6,351	11,154	63,719
6cm	18,539	7,134	11,405	61,519
8cm	18,731	9,656	9,075	48,449
10cm	16,941	7,749	9,192	54,259
12cm	21,759	9,946	11,813	54,290
14cm	18,86	10,472	8,388	44,475
16cm	19,181	13,122	6,059	31,589
18cm	20,492	15,481	5,011	24,453
20cm	19,624	14,619	5,005	25,504
22cm	18,253	14,325	3,928	21,520
24cm	15,599	12,002	3,597	23,059
26cm	17,381	13,68	3,701	21,293
28cm	17,347	13,552	3,795	21,877

Tabelas com os valores de Susceptibilidade Magnética dos testemunhos estudados

<b>TESTEMUNHO T1</b>	
<b>Profundidades (cm)</b>	<b>Susceptibilidade magnética (10<sup>-6</sup> SI)</b>
6	3.33
8	3.80
10	3.90
13	4.02
15	4.24
18	4.32
20	4.34
22	4.51
25	4.57
27	4.72
29	4.81
31	4.98
33	5.09
36	5.06
38	5.09
40	5.20
42	5.20
45	5.13



TESTEMUNHO T2	
Profundidades (cm)	Susceptibilidade magnética (10 <sup>-6</sup> SI)
5	6.09
7	4.97
9	5.48
11	5.58
13	5.58
15	5.65
17	5.39
19	5.42
22	5.32
24	5.46
26	5.42
28	5.24
30	5.29
33	5.37
35	5.41
37	5.49
39	5.52
42	5.65
44	5.67
46	5.75
48	5.71
50	5.90
52	6.10
54	5.54
56	5.18
58	4.63
60	3.91

TESTEMUNHO 3	
Profundidades (cm)	Susceptibilidade magnética (10 <sup>-6</sup> SI)
4	-42.94
7	-22.79
9	-12.61
11	-6.86
13	-3.68
16	-1.89
18	-0.70
20	0.09
22	0.67
25	1.05
27	1.08
29	1.19
32	0.96
34	0.76

Tabelas com os valores de Impedância Acústica dos testemunhos estudados

Testemunho T1	
Profundidades (cm)	Impedância Acústica
6	
8	2037,712
10	2068,774
13	2125,601
15	2154,245
18	2207,252
20	2228,504
22	2210,531
25	2241,862
27	2269,498
29	2284,291
31	2278,25
33	2340,862
36	2363,723
38	2371,389
40	2381,129
42	2329,053
45	2271,994
47	2284,141

Testemunho T2	
Profundidades(cm)	Impedância Acústica
7	2231,103
9	2252,572
11	2331,843
13	2355,677
15	2291,263
17	2356,815
19	2375,891
22	2409,735
24	2405,882
26	2423,759
28	2437,389
30	2454,218
33	2392,269
35	2461,05
37	2474,945
39	2570,698
42	2619,777
44	2606,008
46	2592,996
48	2548,516
50	2496,959
52	2454,253
54	1987,266
56	2064,562
58	2379,951
60	2165,742

TESTEMUNHO T3	
Profundidades (cm)	Impedância Acústica
4	2380,478
7	2316,294
9	2653,815
11	3016,628
13	2957,344
16	2865,815
18	2842,214
20	2871,937
22	2838,86
25	2786,902
27	2595,2045
29	2555,0587
32	2681,352
34	2788,2991

Tabela com os valores de Porosidade dos testemunhos estudados

Testemunho T1	
Profundidades (cm)	Porosidade
8	0,7797
10	0,7685
13	0,7506
15	0,7376
18	0,7176
20	0,7115
22	0,7154
25	0,7043
27	0,6896
29	0,6867
31	0,6776
33	0,6726
36	0,6608
38	0,658
40	0,6579
42	0,6737
45	0,6889
47	0,6859

Testemunho T2	
Profundidades (cm)	Porosidade
7	0,7263
9	0,7182
11	0,688
13	0,6787
15	0,7012
17	0,6777
19	0,6748
22	0,6616
24	0,6596
26	0,6505
28	0,6468
30	0,6426
33	0,6619
35	0,6451
37	0,6385
39	0,6066
42	0,5904
44	0,5932
46	0,5932
48	0,6058
50	0,6245
52	0,6367
54	0,7219
56	0,6979
58	0,7018
60	0,7549

TESTEMUNHO 3	
Profundidades (cm)	Porosidade
4	0,5338
7	0,5249
9	0,5375
11	0,5036
13	0,5113
16	0,5385
18	0,5417
20	0,5193
22	0,5369
25	0,5452
27	0,6355
29	0,65
32	0,6075
34	0,6315



Tabelas com os valores de Ensaio de Carga dos testemunhos estudados.

Testemunho T1		
Profundidades (cm)	PENETRÔMETRO (20mm)	
	FORÇA	PRESSÃO (Kg/m <sup>2</sup> )
6	0,35	0,2
8	0,6	0,32
10	0,8	0,45
13	0,7	0,4
15	1,45	0,8
18	1,2	0,7
20	1,1	0,6
22	1,75	1
25	2,05	1,1
27	2,1	1,15
29	2,8	1,5
31	1,8	1
33	2,5	1,4
36	2,35	1,3
38	1,7	0,95
40	1,52	0,85
42	1,4	0,8
45	1,2	0,7
47	0,95	0,5

Testemunho T2		
Profundidades (cm)	PENETRÔMETRO (15mm)	
	FORÇA	PRESSÃO (Kg/m <sup>2</sup> )
3	0,3	0,15
5	0,45	0,25
7	0,3	0,15
9	0,4	0,2
11	0,3	0,2
13	0,25	0,15
15	0,35	0,2
17	0,45	0,25
19	0,4	0,22
22	0,35	0,2
24	0,25	0,05
26	0,75	0,42
28	0,65	0,38
30	0,75	0,42
33	1,1	0,62
35	0,8	0,45
37	1,3	0,72
39	1,3	0,7
42	1,65	0,9
44	0,6	0,35
46	0,8	0,42

Testemunho T3		
Profundidades (cm)	PENETRÔMETRO (20mm)	
	FORÇA	PRESSÃO (Kg/m <sup>2</sup> )
4	17,6	9,68
7	12	6,6
9	12	6,6
11	7,1	3,905
13	6,3	3,465
16	5,55	3,0525
18	4,35	2,3925
20	4,4	2,42
22	3,35	1,8425
25	6,25	3,4375
27	5,8	3,19

Tabelas com os valores de Resistência ao Cisalhamento dos testemunhos estudados

Testemunho T1	
Profundidades (cm)	TORVANE PRESSÃO (Kg/m <sup>2</sup> )
6	0,24
8	0,32
10	0,52
13	0,44
15	0,75
18	0,88
20	0,7
22	0,9
25	1,18
27	1,02
29	1,35
31	1,1
33	1,1
36	1,15
38	1,1
40	0,92
42	0,8
45	0,89
47	0,64

Testemunho T2	
Profundidades (cm)	TORVANE (0,2)
	Pressão
3	0,03
5	0,05
7	0,03
9	0,04
11	0,04
13	0,03
15	0,04
17	0,05
19	0,044
22	0,04
24	0,01
26	0,084
28	0,076
30	0,084
33	0,124
35	0,09
37	0,144
39	0,14
42	0,18
44	0,07
46	0,084

TESTEMUNHO T3	
Profundidades (cm)	TORVANE (1) PRESSÃO (Kg/m <sup>2</sup> )
4	0,2
7	0,55
9	0,8
11	0,85
13	0,7
16	1,1
18	0,25
20	0,75
22	1,1
25	2
27	1,6