UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

JULIANA MARIA GONÇALVES DE SOUZA

CARACTERIZAÇÃO GEOACÚSTICA DE SEDIMENTOS SUPERFICAIS NA PORÇÃO CENTRAL DA BACIA DE SANTOS

NITERÓI

2010

JULIANA MARIA GONÇALVES DE SOUZA

CARACTERIZAÇÃO GEOACÚSTICA DE SEDIMENTOS SUPERFICAIS NA PORÇÃO CENTRAL DA BACIA DE SANTOS

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: Geofísica de Exploração.

Orientador: Prof. Arthur Ayres Neto

Niterói

2010

JULIANA MARIA GONÇALVES DE SOUZA

CARACTERIZAÇÃO GEOACÚSTICA DE SEDIMENTOS SUPERFICAIS NA PORÇÃO CENTRAL DA BACIA DE SANTOS

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: Geofísica de Exploração.

Aprovada em fevereiro de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Arthur Ayres Neto UFF

Prof. Alberto Garcia Figueiredo Junior UFF

Prof. Jose Antonio Baptista Neto UFF

Niterói

2010

Agradecimentos

A Deus, pelo sustento e fidelidade, dia após dia, na minha vida;

Aos meus pais, Alberto e Noeme, a quem sou eternamente grata pelo amor, carinho, educação e discernimento;

Aos meus irmãos, Rogério e Tatiana, pelos conselhos, apoio e auxílios durante a faculdade;

A todos os professores do Lagemar, pelo conhecimento e oportunidade da profissão nesses cinco anos de graduação. 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. A banca examinadora, pelas críticas, sugestões e auxílio neste trabalho;

A Renata Maia, pelos conselhos e ajuda na confecção dos mapas presentes nesta monografia;

Aos meus amigos, Miguel Redusino e Rodrigo Pontes, pelos momentos divertidos que tivemos no embarque e laboratório;

Aos meus amigos de turma, que proporcionaram excelentes momentos e, pela amizade e companheirismo, nesses cinco anos;

A todos os meus amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LIST	TA D	E FIGURAS	vii
LIST	TA D	E TABELAS	viii
RES	SUM	O	ix
ABS	STR/	ACT	x
1	INT	RODUÇÃO	1
2	OB	JETIVOS	3
3	ÁR	EA DE ESTUDO	4
3.	1	Localização	4
3.	2	Geologia e Sedimentologia	6
4	со	NCEITOS BÁSICOS	. 12
4.	1	Velocidade de Onda Compressional	. 12
4.	2	Densidade	. 16
4.	3	Impedância Acústica	. 18
4.	4	Susceptibilidade Magnética	. 18
4.	5	Porosidade	. 20
4.	6	Resistência ao Cisalhamento	. 22
5	ME	TODOLOGIA	. 24
5.	1	Aquisição dos Dados	. 25
5.	2	Sistema de Medição	. 27
5.	3	Descrição dos testemunhos	. 28
5.	4	Densidade Úmida e Teor de Água	. 29
5.	5	Granulometria	. 30

	5.6	Ens	saios Geotécnicos	30			
	5	.6.1	Resistência ao cisalhamento	30			
	5	.6.2	Ensaio de Carga	31			
6	R	RESUL	TADOS	32			
	6.1	De	scrição dos testemunhos	32			
	6.2	Vel	locidade de onda compressional	44			
	6.3	De	nsidade	47			
	6.4	Su	sceptibilidade Magnética	50			
	6.5	Imp	pedância Acústica	52			
	6.6	Poi	rosidade	54			
	6.7	Re	sistência ao Cisalhamento	56			
	6.8	En	saio de Carga	58			
7	D	DISCU	SSÃO	60			
	7.1	Gra	anulometria	60			
	7.2	Vel	locidade de onda P	62			
	7.3	De	nsidade	63			
	7.4	Su	sceptibilidade Magnética	65			
	7.5	Imp	pedância Acústica	66			
	7.6	Poi	rosidade	67			
	7.7	Re	sistência ao Cisalhamento	68			
	7.8	Ens	saio de Carga	70			
8	С	CONCL	_USÃO	73			
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS						
1	0 APÊNDICE I						

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da área de estudo apresentado o levantamento e os pontos de amostragem
5
Figura 2: Mapa de distribuição dos sedimentos segundo a classificação granulométrica tipo
Sherpard9
Figura 3: Mapa faciológico dos sedimentos superficiais da plataforma continental e
sedimentação quaternária de oceano profundo 10
Figura 4: Mapa de composição dos sedimentos conforme a classificação Larsonneur 11
Figura 5: Mapa de composição dos sedimentos conforme a classificação Larsonneur 11
Figura 6: Propagação de uma onda compressional12
Figura 7: Modelo de densidade dos sedimentos/rochas para a) n constituintes e b) matriz e
dois constituintes de espaço poroso 16
Figura 8: Definição de porosidade21
Figura 9: Transmissão de forças entre partículas de areia e de argila
Figura 10: Amostrador do tipo <i>Box Corer</i>
Figura 11: Box Corer contendo amostra do fundo marinho 26
Figura 12: Sistema de medição de Vp no MSCL 27
Figura 13: Torvane de bolso, equipamento geotécnico utilizado para determinar a resistência
ao cisalhamento
Figura 14: Penetrômetro de mão de precisão usado para ensaio de carga, na análise
geotécnica
Figura 15: Descrição geológica do testemunho S1
Figura 16: Descrição geológica do testemunho S2
Figura 17: Descrição geológica do testemunho S3 38
Figura 18: Descrição geológica do testemunho S4 39
Figura 19: Descrição geológica do testemunho S5 40

Figura 20: Descrição geológica do testemunho S6	41
Figura 21: Descrição geológica do testemunho S7	42
Figura 22: Descrição geológica do testemunho S8	43
Figura 23: Perfis de velocidade de onda P dos oito testemunhos	46
Figura 24: Perfis de densidade dos oito testemunhos	49
Figura 25: Perfis de susceptibilidade magnética dos oito testemunhos	51
Figura 26: Perfis de impedância acústica dos oito testemunhos	53
Figura 27: Perfis de porosidade dos oito testemunhos.	55
Figura 28: Perfis de resistência ao cisalhamento dos oito testemunhos	57
Figura 29: Perfis de ensaio de carga dos oitos testemunhos	59
Figura 30: Mapa da área de estudo com valores médios de granulometria dos o	ito
testemunhos	61
Figura 31: Mapa da área de estudo com valores médios de velocidade de onda P dos o	oito
testemunhos	62
Figura 32: Mapa da área de estudo com valores médios de porosidade dos o	ito
testemunhos	64
Figura 33: Mapa da área de estudo com valores médios de susceptibilidade magnética d	los
oito testemunhos.	66
Figura 34: Mapa da área de estudo com valores médios de impedância acústica dos o	ito
testemunhos	67
Figura 35: Mapa da área de estudo com valores médios de porosidade dos oit	tos
testemunhos	68
Figura 36: Mapa da área de estudo com valores médios de resistência ao cisalhamento d	los
oito testemunhos.	69
Figura 37: Mapa da área de estudo dos valores médios de ensaio de carga dos o	oito
testemunhos	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Localização e profundidade dos testemunhos coletados. 5
Tabela 2: Comportamento de valores médios de V _p em relação à densidade e porosidade
em determinados tipos de sedimentos14
Tabela 3: Medidas de laboratório de velocidade de onda compressional (V _p) em sedimentos
marinhos saturados
Tabela 4: Valores médios de densidade coletados na plataforma e talude continental nas
regiões do Mar Mediterrâneo, Mar do Norte entre outros
Tabela 5: Valores de porosidade observados na plataforma e talude continental no Mar de
Bering, Mar do Norte, Mar Mediterrâneo e outras áreas21
Tabela 6: Grupos de domínios morfológicos associados aos valores médios dos parâmetros
físicos encontrados nos oito testemunhos72

RESUMO

Diversos modelos geoacústicos vêem sendo estudados e desenvolvidos a fim de obter o maior numero de informações possíveis, para detalhar as relações entre as propriedades físicas e os parâmetros geoacústicos. Desta forma, utilizam-se metodologias e ferramentas que auxiliam o aperfeiçoamento da modelagem geoacústica de ambiente marinho. Este trabalho apresenta as relações das propriedades acústicas do meio através de velocidade de onda P e os parâmetros sedimentológicos (granulometria, densidade, porosidade, susceptibilidade magnética, teor de água, resistência ao cisalhamento entre outros) que compõe o fundo marinho e suas camadas subseqüentes. Foram coletados oito testemunhos, na porção central da Bacia de Santos, e os mesmos foram perfilados através do Multi Sensor Corer Logger (MSCL), obtendo-se os parâmetros citados acima. Treze tipos de sedimentos foram considerados a partir da descrição geológica: conchas, areia muito grossa, areia muito grossa a grossa lamosa, areia grossa lamosa, areia grossa a média lamosa, areia média lamosa, lama com areia media grossa, lama com areia média, lama com areia média a fina, lama com areia fina, lama muito fluida, lama fluida e lama compacta. Com os resultados obtidos, definiram-se três domínios morfológicos: o grupo 1, como domínio de plataforma interna, apresentando as seguintes caracteristicas: sedimentos mais grosseiros (altos teores de cascalho); valores médios mais altos de Vp (> 1500 m/s); maior media de densidade (1,8 g/cm³); menor media de susceptibilidade magnetica (-6,0 $\times 10^{-6}$ SI); maior média de impedância acústica (2709 m/s.g/ cm³); menor valor médio de porosidade (Φ < 0,6); maior média de resistência ao cisalhamento (0,9 Kg/m²); e maior média de ensaio de carga (4,0 Kg/m²). O domínio de plataforma externa e talude superior, definido no grupo 2, caracteriza-se por: sedimentos com maior fração silte; valores médios intermediários de velocidade de onda P (1490 m/s aproximadamente); valores médios intermediários de susceptibilidade magnética (2 < χ < 6) e sua exceção (143 x10⁻⁶ correspondente ao testemunho S4); valores médios intermediários de densidade (1,6 < ρ < 1,7); valores médios intermediários de impedância acústica ($I \approx 2500 \text{ m/s.g/ cm}^3$); valores médios intermediários de porosidade ($\Phi \approx 0.6$); valores médios intermediários de resistência de cisalhamento (0,2 < Su < 0,7); e valores médios intermediários de ensaio de carga (0,3 < P < 2,0). O grupo 3, que consiste no domínio de talude inferior, pode ser definido por: sedimentos com maior fração silte; menores valores médios de Vp (> 1490 m/s); menores valores médios de susceptibilidade magnética (entre 3,0 e 5,0); menores valores médios de densidade (p < 1,6); menores valores de impedância acústica ($I < 2300 \text{ m/s.g/cm}^3$); maiores valores médios de porosidade ($\Phi > 0,7$); alto valor médio de resistência ao cisalhamento (0,8 Kg/m² correspondente ao testemunho S1); e valores médios altos de ensaio de carga (P \approx 8,0). Portanto, através da analise dos parâmetros físicos e a correlação com os domínios morfológicos, e possível aferir uma modelagem geoacústica do fundo marinho, com a resposta e o comportamento dos sedimentos marinhos superficiais saturados.

ABSTRACT

Several geoacoustic models have been studied and developed in order to get as many information as possible, to detail the relationship between physical properties and geoacoustic parameters. Thus, we use methodologies and tools that support the improvement of geoacoustic modeling the marine environment. This paper presents the relationship of the acoustic properties of the medium through the P wave velocity and sediment parameters (grain size, density, porosity, magnetic susceptibility, water content, shear strength etc.) that make up the seabed and its subsequent layers. Was collected eight cores, the central portion of the Santos Basin, and they were profiled by the Multi Corer Sensor Logger (MSCL), obtaining these parameters. Thirteen types of sediment were recognized from the geological description: shells, very coarse sand, very coarse sand to coarse muddy, coarse sand muddy, coarse sand to medium muddy, medium sand muddy, mud, sand with medium thick, medium sand with mud, mud with medium to fine sand, mud with fine sand, mud very fluid, fluid mud and mud compact. With the results, we defined three morphological domains: group 1, as an area of the inner shelf, with the following characteristics: coarse sediments (high gravel), higher average values of Vp (> 1500 m/s), greater media density (1,8 g/cm³), lower rating magnetic susceptibility (-6,0 x10-6 SI), higher mean impedance (2709 m/s.g/cm³), lower mean porosity ($\Phi < 0.6$), higher mean shear strength (0,9 kg/m2) and highest average load test (4,0 kg/m²). The domain of outer shelf and upper slope, defined as group 2, characterized by: sediments with higher silt; intermediate values of P wave velocity (1490 m / s approximately), intermediate values of magnetic susceptibility (2 < χ <6) and its exception (143 x10⁻⁶ corresponding to the S4 core); values intermediate density (1.6 < ρ <1.7), intermediate values of acoustic impedance (R \approx 2500 m/s.g/cm³), intermediate values of porosity ($\Phi \approx 0.6$), intermediate values of shear strength (0.2 <Su <0.7), and intermediate values of load test (0.3 <P <2, 0). Group 3, consisting of the lower slope area, can be defined by: sediments with higher silt, lower values of Vp (> 1490 m/s) lower mean values of magnetic susceptibility (between 3.0 and 5, 0); lowest average density (ρ <1.6), lower values of impedance (I < 2300 m/s.g/cm³), higher values of porosity (Φ > 0.7) and high average resistance shear (0.8 kg / m 2 corresponding to the testimony S1), and high average test load ($P \approx 8.0$). Therefore, through the analysis of physical parameters and the correlation with morphological areas, and can benchmark a geoacoustic modeling the seabed, with the response and behavior of saturated marine sediment surface.

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente descoberta de campos de óleo e gás em regiões cada vez mais distantes da costa e em profundidades de água que ultrapassam 2.000 metros, tendo como exemplo a Bacia de Santos, tem sido prática cada vez mais comum o emprego de linhas de dutos rígidos e flexíveis como solução para o escoamento da produção de óleo e gás de poços *offshore* para locações em terra.

Muitas são as variáveis envolvidas nos projetos de dutos submarinos, que operam sob altas pressões e temperaturas, sujeitos à ação de correntes marinhas e a erosão dos sedimentos do fundo (podendo gerar vãos livres e taludes relativamente acentuados). Nestes casos especificamente se busca detalhar as características geológicas / geotécnicas dos primeiros 50 a 100 cm abaixo do fundo marinho dependendo do diâmetro nominal do duto a ser instalado, utilizando-se de métodos geoacústicos.

Diversos modelos geoacústicos vêem sendo estudados e desenvolvidos a fim de obter o maior numero de informações possíveis, para detalhar as relações entre as propriedades físicas e os parâmetros geoacústicos. Em geral, estes modelos são importantes ferramentas que permitem medir, inferir e prever valores das propriedades físicas em um determinado meio marinho. Sabe-se que a obtenção de medidas in situ são complexas, por questões de logística, por exemplo, e refletem na quantidade de informações e dados presentes na literatura (Buckingham, 2005).

Desta forma, utilizam-se metodologias e ferramentas que auxiliam o aperfeiçoamento da modelagem geoacústica de ambiente marinho, como o estudo das relações das propriedades acústicas do meio através de velocidade de onda P e os parâmetros sedimentológicos (granulometria, densidade, porosidade, susceptibilidade magnética, teor de água, resistência ao cisalhamento entre outros) que compõe o fundo

marinho e suas camadas subseqüentes (Hamilton 1980, Richardson et al. 1997 e 2002 e Buckingham 2005).

Trabalhos sobre classificação geoacústica do fundo marinho já vêm sendo desenvolvidos desde a década de 80 por diferentes autores. 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) realizou trabalhos que estudaram a relação entre modelos geoacústicos (velocidades de ondas P e S) e propriedades como granulometria, densidade, teor de umidade e índice de vazios. Mais recentemente 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

Apoiando-se nas informações obtidas na literatura, este trabalho teve como principal propósito realizar medições de parâmetros físicos em testemunhos de sedimentos marinhos superficiais, obtidos na parte central da Bacia de Santos, através de perfilagem geofísica (velocidade de onda P, densidade, susceptibilidade magnética, impedância acústica e porosidade) e ensaios laboratoriais (geologia e geotecnia). Combinando essas informações, foi possível quantificar e qualificar esses parâmetros como característicos dos sedimentos marinhos superficiais, melhorando assim, a resolução da modelagem geoacústica.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A Bacia de Santos corresponde a uma das principais bacias da porção sudeste da margem leste brasileira, recobrindo uma área de aproximadamente 200.000 km², localizada entre os estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Milani *et. al.* 2000). 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 área de estudo corresponde à região de plataforma continental e talude (até 2200 m de profundidade) na Bacia de Santos. Dessa forma foi possível investigar os diferentes tipos de sedimentos observados nestas duas províncias morfológicas marinhas, enriquecendo os resultados finais da pesquisa.

Neste trabalho foram utilizados 16 testemunhos no total, sendo oito deles para geofísica/geologia e o restante para geotecnia. A amostragem ocorreu durante o embarque entre os dias 12 e 20 de maio de 2009, através do projeto da empresa Repsol YFP em parceria com o Departamento de Geologia Marinha (Lagemar – UFF). A figura 1 e tabela 1 apresentam a localização da área de estudo e a localização (coordenadas geográficas e profundidade) dos pontos amostrados.



Figura 1: Mapa da área de estudo apresentado o levantamento e os pontos de amostragem.

Pontos Amostrados	Latitude (S)	Longitude (W)	Profundidade (m)
S1	25°06,835′	043°17,803′	2104
S2	24°28,653′	044°16,386′	415
S 3	24°01,109′	045°11,674′	70
S 4	24°58,029′	044°43,925′	350
S 5	25°13,527′	044°59,627′	170
\$6	25°21,992′	044°15,144′	1930
\$7	24°11,567′	43°36,076′	200
\$8	23°26,121′	43°08,194′	115

Tabela 1: Localização (coordenadas geográficas) e profundidade dos testemunhos coletados.

3.2 Geologia e Sedimentologia

O conhecimento da sedimentação na margem sudeste brasileira, abrangendo desde o final do pleistoceno até o Moderno pode ser observado a partir de estudos realizados pelo projeto *Remac* e Programa *REVIZEE*. A cobertura sedimentar dessa região possui dois domínios sedimentares bem definidos: um terrígeno, de plataforma interna e média, e outro carbonático, de plataforma externa (figs. 2 e 3). Entre Cabo Frio e o arroio Chuí, as fácies sedimentares são bastante homogêneas e quase contínuas sendo representada pela sedimentação terrígena, presentes na plataforma interna.

A plataforma continental apresenta uma largura máxima de 250 km no embaiamento 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. Desde o sul da cidade do Rio Grande até norte de Santos, há uma ampla distribuição de areias, bolsões de areia lamosa e de lama arenosa, que ocorre na plataforma continental média na porção sul e nas proximidades da Baía de Ilha Grande (Figueiredo Jr & Tessler, 2004) (fig. 2 e 3).

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 (figs 2 e 3).

Segundo Rocha *et al.* (1975), os depósitos encontrados na plataforma média correspondente as 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.

As principais fácies dos sedimentos carbonáticos (fig. 4), 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, predomina 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).

Uma análise feita através de estudos do projeto REVIZEE, segundo a classificação de Larsonneur (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. 4 e 5). 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 continuas. Vale ressaltar, que a composição dos sedimentos segundo a classificação de Larsonneur refere-se aos percentuais de carbonatos e granulometria. Sedimentos com percentuais de carbonato menor que 30%, são classificados como "litoclásticos"; os sedimentos com percentagem entre 30% e 50% são classificados como "litobioclásticos"; percentuais entre 50% e 70% são classificados como "biolitoclásticos" e por fim, sedimentos com percentagem de carbonatos maior que 70%, são classificados como "bioclásticos".

Ao sul da Ilha de São Sebastião observa-se que a plataforma continental é caracterizada por apresentar sedimentos com percentual de carbonatos inferior a 30%, ou seja, litoclásticos, transitando a sedimentos biolitoclásticos na plataforma continental externa, onde se encontram depositados intercalados a sedimentos litobioclásticos e bioclásticos, até as imediações da Lagoa dos Patos (Figueiredo Jr & Tessler, 2004).

7

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

Os mapas de classificação de sedimentos do Programa Revizee foram feitos a partir de modificações na classificação de Shepard (diagrama triangular), pois consideram apenas como principais constituintes as granulometrias de silte, argila e areia, não considerando a granulometria cascalho.



Figura 2: Mapa de distribuição dos sedimentos segundo a classificação granulométrica tipo Sherpard. Área destacada em vermelho indica área de estudo desta monografia. Fonte: Modificado de REVIZEE, 2004.



Figura 3: Mapa faciológico dos sedimentos superficiais da plataforma continental e sedimentação quaternária de oceano profundo. Fonte: Modificado de Kowsmann & Costa, 1979 (Projeto Remac).



Figura 4: Mapa de composição dos sedimentos conforme a classificação Larsonneur. Área destacada em vermelho indica área de estudo desta monografia. Fonte: REVIZZE, 2004.



Figura 5: Mapa de composição dos sedimentos conforme a classificação Larsonneur. Área destacada em vermelho indica área de estudo desta monografia. Fonte: REVIZEE, 2004.

4 CONCEITOS BÁSICOS

4.1 Velocidade de Onda Compressional

Define-se velocidade compressional (V_p) como uma onda de corpo, na qual as partículas do meio descrevem um movimento vibratório no mesmo sentido da propagação da onda, de forma que o meio é constantemente comprimido e distendido (fig. 6). As ondas longitudinais, podendo ser assim classificadas, são as primeiras ondas a serem registradas por sismo ou fonte artificial, por isso são chamadas de ondas P (Primárias). Não obstante, este tipo de onda propaga-se em meios compressíveis, ou seja, tanto em meio sólido quanto em fluidos.



Figura 6: Propagação de uma onda compressional. Fonte: Observatório Sismológico UNB.

A propagação de V_p depende de duas constantes elásticas: módulo de rigidez (μ) e compressão (k). 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.

A partir desses parâmetros, pode-se definir V_p através da seguinte equação:

$$Vp = \sqrt{rac{k + rac{4}{3}\mu}{
ho}}$$
, Onde ho é a densidade.

As constantes elásticas, citadas 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). Para validar a afirmação anterior, Woods (1991) definiu uma série de parâmetros que influenciam nessas constantes: porosidade, pressão de confinamento, histórico de tensão, idade geológica, tensão cisalhante, grau de saturação, temperatura e taxa de sobre-adensamento. Em uma maneira geral, as propriedades elásticas dependem desses parâmetros, já que os sedimentos são compostos de materiais diferentes.

Os sedimentos podem estar misturados à água, 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). Alguns autores afirmam que a propagação de ondas compressionais em materiais porosos é basicamente controlada pela compressibilidade do fluido intersticial (Hamilton e Bachman, 1982; Freund, 1992; 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 compressionais em determinados tipos de sedimentos (tabela 2). Em geral, existe uma tendência de aumento de Vp com a diminuição da porosidade e um aumento da densidade (Ayres Neto, 1998).

13

Tabela 2: Comportamento de valores médios de V_p em relação à densidade e porosidade em determinados tipos de sedimentos. Dados coletados no Mar Mediterrâneo, Mar do Norte entre outros, na plataforma e talude continental (Hamilton & Bachman, 1982).

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

Macedo (2006) compilou diversos resultados obtido por outros autores em medições de velocidade de onda compressional em diversos tipos de sedimentos, coletados por testemunhadores, em ambiente de plataforma continental (tabela 3). A esta compilação foi acrescentado mais um trabalho, realizado recentemente por Falcão (2009). È importante ressaltar que, os métodos e as condições de medição aplicada nesta monografia, diferem em alguns aspectos dos trabalhos feitos na literatura até então. O que quer ser levado em consideração é o comparativo de dados de Vp, já tabelados na literatura, com os resultados obtidos neste trabalho.

Tabela 3: Medidas de laboratório de velocidade de onda compressional (V_p) em sedimentos marinhos saturados. Valores de Vp em m/s, medidos e corrigidos para a temperatura de 23° C (Modificado de Macedo, 2006).

Tipo de	Shumway (1960)		McLeroy and Loach (1968)		Hamilton (1980)		Richard e Briggs (2004)		Macedo (2006)		Falcão (2009)	
sealmento							mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Areia grossa	issa		1836						1235,5	1612,8		
Areia média	1737		1815				1735	1774,1	1555	1752		
Aroja fina	1693				mínimo	máximo	1651,9	1764,2	1635	1715		
Areia lilla					1702	1749						
Areia lamosa	1551		1540		16	1646		1617,6	1550	1644		
Lama aronosa	1541		1541		mínimo	máximo	1609,7	1652,4	1492	1639	1309,4	1777,9
					1579	1652						
Lama	mínimo	máximo	mínimo	máximo	1520	1615	1/80 /	1551.6	1/03	1600	1385.6	15/0 0
Lama	1495	1548	1525	1530	1320	1015	1400,4	1554,0	1493	1000	1303,0	1049,9

4.2 Densidade

Segundo Schon (1996), a densidade ρ de um material corresponde à razão da massa *m* de todas as partículas de um material pelo volume total *V* que as mesmas ocupam (fig. 7). É expressa através da seguinte equação:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Para definir a densidade de um material de n constituintes (fig. 7.), Schon (1996) descreve que:

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

Onde ρ_i é a densidade, V_i é o volume do componente *i* e $\binom{V_i}{V}$ é a fração do volume do





Figura 7: Modelo de densidade dos sedimentos/rochas para a) n constituintes e b) matriz e dois constituintes de espaço poroso. Fonte: Modificado de Schon, 1996.

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 a densidade aumentando com a diminuição da porosidade e vice-versa. No entanto, a correlação exata é controlada pela densidade da matriz e do fluido presente no espaço poroso (Schon, 1996).

Trabalhos realizados por Hamilton e Bachman (1982) exemplificam valores de densidade encontrados no Mar Mediterrâneo, Mar do Norte entre outros, descritos na tabela 4.

Tabela 4: Valores médios de densidade coletados na plataforma e talude continental nas regiões do Mar Mediterrâneo, Mar do Norte entre outros (Hamilton & Bachman, 1982).

Tipo de sedimento	Diâmetro médio dos grãos (mm)	Densidade (g/cm ³)		
Areia grossa	0,5285	2,034		
Areia fina	0,1638	1,962		
Areia muito fina	0,0988	1,878		
Areia siltosa	0,0529	1,783		
Silte arenoso	0,0340	1,769		
Silte	0,0237	1,740		
Areia-silte-argila	0,0177	1,575		
Silte argiloso	0,0071	1,489		
Argila siltosa	0,0022	1,480		

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

Bassiouni (1994) descreve que as variações da densidade e da porosidade em rochas e sedimentos marinhos têm grande importância para a propagação de ondas acústicas. Obtendo-se a medida de densidade é possível avaliar areias argilosas e litologias complexas, além de outras aplicações como determinar a densidade de hidrocarbonetos e descobertas de gás.

4.3 Impedância Acústica

Schlumberger (1987) define que a impedância acústica (*IA*) é resultado do produto entre os perfis de velocidade de onda compressional (*Vp*) e densidade (ρ), segundo a equação:

$$IA = \rho Vp$$

A densidade dos sedimentos marinhos 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.

4.4 Susceptibilidade Magnética

As propriedades magnéticas são descritas como o comportamento de diversas substâncias sob a influência do campo magnético. Desta forma, o grau de magnetização de um material, em resposta de ao campo magnético aplicado, define a susceptibilidade magnética deste material.

Segundo 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.

Além disso, há fatores que controlam a susceptibilidade magnética nos sedimentos, tais como:

- A susceptibilidade nos sedimentos aumenta com o teor de argila;
- É fortemente controlada pelo tipo de mineral magnético e sua concentração nos sedimentos ou rochas;
- Seu valor decresce com a diminuição do tamanho do grão mineral magnético;
- Anisotropia cristalina dos grãos minerais (por exemplo, hematita e ilmenita) (Peterson e Bleil, 1982).

Em estudos realizados por Breitzke et al (1993) no Cruzeiro 23/2 do navio Meteor, na região do talude continental do Rio grande do Sul até Bacia da Argentina, demonstraram que, nos sedimentos marinhos, a susceptibilidade magnética média possuía valores mínimos de 200 a 250 x 10 ⁻⁶ SI, a profundidades próximas de 2000 metros, e valores máximos de 350 a 400 x 10 ⁻⁶ SI no ambiente de sedimentação pelágica. As altas concentrações de partículas ferromagnéticas foram encontradas nas areias e na fração argila e as menores concentrações, na fração silte. A grande variação no conteúdo de areia, no talude superior, influenciou o aumento dos valores médios (300 a 400 x 10⁻⁶ SI). Amostragens feitas na borda da plataforma continental na margem nordeste brasileira mostraram um decréscimo nos valores de susceptibilidade (100 x 10 ⁻⁶ SI) e o aumento do conteúdo de material biogênico.

Frederichs et al. (1996) afirma que valores altos de susceptibilidade magnética indicam alta concentração de litogenicos, mineralizacao 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.

Donebeck et al. (1993) obteve valores médios de susceptibilidade magnética em torno de -15 x 10 $^{-6}$ SI (minerais diamagnéticos como quartzo e calcita pura) a 10.000 x 10 $^{-6}$ SI (detritos basálticos ricos em magnetita) coletados na margem continental da África do Sul.

Falcão (2009), em estudo de sedimentos marinhos em Caravelas (Bahia), encontrou valores bem inferiores comparados aos citados anteriormente. Nos sedimentos de areia grossa a muito grossa, o valor médio corresponde a -1,39 x 10^{-6} SI; lama compacta com lama arenosa, 3,31 x 10^{-6} SI; lama fluida a muito fluida, 3,37 x 10^{-6} SI; e lama compacta, 9,69 x 10^{-6} SI.

4.5 Porosidade

A porosidade Φ é definida como a razão do volume de vazios ou espaços porosos V_{ρ} pelo volume total *V* de rocha ou pacote sedimentar (fig.8):

$$\phi = \frac{Vp}{V} = 1 - \frac{Vm}{V},$$

Onde V_m é o volume de matriz de sólidos. A porosidade é uma grandeza adimensional que é expressa em porcentagem (0 a 100%) ou fração decimal (0 a 1).



Figura 8: Definição de porosidade. Fonte: Modificado de Schon, 1996.

As propriedades geométricas dos grãos influenciam diretamente na porosidade, como tamanho, distribuição e forma dos grãos. A tabela a seguir apresenta valores de porosidade observados em trabalhos por Hamilton e Bachman (1982):

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

Tabela 5: Valores de porosidade observados na plataforma e talude continental no Mar de Bering, Mar do Norte, Mar Mediterrâneo e outras áreas (Hamilton & Bachman, 1982).

Algumas relações entre o grau de seleção de um sedimento e sua porosidade podem ser estabelecidas. Por exemplo, um sedimento muito bem selecionado mostra alta porosidade, enquanto que um mal selecionado apresenta baixa porosidade, em função do preenchimento dos poros pela fração detrítica mais fina. Outro fator que influência na porosidade de um sedimento é a sua forma de empacotamento, um parâmetro difícil de mensurar (cúbico, romboédrico, etc.).

4.6 Resistência ao Cisalhamento

A capacidade dos sedimentos se romperem é quase sempre um fenômeno de cisalhamento. Isto acontece, por exemplo, quando um duto ou sapata de fundação é carregado até a ruptura ou quando ocorre o escorregamento de um talude. Só em condições especiais, ocorrem rupturas por tensões de tração. A resistência ao cisalhamento de um sedimento pode ser definida como a máxima tensão τ_r de cisalhamento que o sedimento pode suportar sem sofrer ruptura, ou tensão de cisalhamento do sedimento no plano em que a ruptura estiver ocorrendo (Pinto, 2000).

Existem fatores que controlam diretamente o cisalhamento: atrito e coesão real entre os grãos. O primeiro está relacionado ao deslocamento envolvendo um grande número de grãos, que possa se deslizar entre si ou rolarem uns sobre os outros, acomodando-se em vazios encontrados no percurso. O segundo é uma parcela da resistência ao cisalhamento de solos úmidos, não saturados, devido à tensão entre partículas resultante da pressão capilar da água. Caso o sedimento esteja saturado, coesão passa ser aparente, na qual a parcela de resistência desaparece, e passa a ser um fenônemo de atrito em função da pressão capilar (Schmitz, 2000).

Há uma diferença 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 minerais.

No caso das argilas, o número de partículas é muitíssimos maiores, 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 são elas as responsáveis pela transmissão das forças (Pinto, 2000). A figura mostra, comparativamente, a diferença dos contatos entre os grãos de areia e os de argila.



Figura 9: Transmissão de forças entre partículas de areia e de argila. Fonte: Modificado de Pinto, 2000.

5 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho abrangeu 9 etapas. A primeira etapa consistiu no levantamento bibliográfico sobre comportamento, características e correlações dos parâmetros acústicos e geotécnicos dos sedimentos do fundo marinho, além da caracterização geológica da área de estudo em questão. O conteúdo adquirido nesta etapa serviu de base para o planejamento das tarefas conseguintes.

A segunda etapa foi realizada o embarque para aquisição dos dados acústicos, e coleta dos testemunhos, perfazendo num total de 16 amostragens, somando aproximadamente 3,50 metros de sedimentos. Alem disso, foram feitas cerca de 400 subamostragens através de seringas, padronizadas e etiquetadas, para estudos mais específicos.

Na terceira etapa, foi realizada a perfilagem dos testemunhos através do Multi Sensor Corer Logger (MSCL), no qual se obtiveram medidas de velocidade de onda P, densidade gamma, susceptibilidade magnética, impedância acústica e porosidade, que serão analisadas e interpretadas com características associadas aos sedimentos adquiridos.

A etapa seguinte consistiu na abertura dos testemunhos para descrição sedimentológica e fotografia, sendo realizadas no Banco de Amostras do LAGEMAR (Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – UFF).

A quinta etapa abrange a parte de laboratório, onde foram obtidos valores de densidade úmida e teor de água a partir das seringas coletas. Posteriormente, foi

realizada a granulometria de todos os testemunhos utilizando-se novamente as seringas coletadas, uma vez que seu conteúdo encontrava-se apropriado para esta etapa (seis).

A sétima e última etapa constituem nos ensaios geotécnicos, feitos também em laboratório, subdividido em resistência ao cisalhamento e ensaio de carga.

5.1 Aquisição dos Dados

A aquisição dos dados deste estudo durou nove dias, dentre os quais estão: mobilização dos equipamentos a bordo da embarcação, dados acústicos (não utilizados nessa monografia) e amostragem. Durante este período foram aquisitados cerca de 800 km de dados acústicos e a realização de oito pontos de amostragem, com 16 testemunhos, somando aproximadamente 3,5 metros de sedimentos e 400 sub-amostras para densidade úmida, teor de água e granulometria.

Para amostragem dos testemunhos, utilizou-se um amostrador do tipo *Box-Corer*, com uma caixa de coleta de 50 cm x 50 cm x 80 cm (fig. 10). Esse equipamento retira amostras de sedimentos indeformadas com volume de 200.000 cm³, ideal para a pesquisa aplicada a dutos submarinos. A partir desta amostragem, realiza-se a sub-amostragem através dos tubos de PVC e as seringas (fig. 11).


Figura 10: Amostrador do tipo *Box Corer*. Fonte: Redusino Jr., 2009



Figura 11: Box Corer contendo amostra do fundo marinho. Foram realizadas subamostragens utilizando tubos de PVC e seringas. Fonte: Redusino Jr., 2009

5.2 Sistema de Medição

Para os ensaios geofísicos, foi utilizado o perfilador multi-sensor de testemunhos *(MSCL)*, o qual consiste em um sistema computadorizado. O testemunho é conduzido, ainda encapsulado em tudo de PVC, pelos diversos sensores, realizando testes não destrutivos e armazenando os dados de maneira sincronizada e simultânea.

O sistema de velocidade de ondas "P" consiste em dois transdutores (fig.12) de ultra-som na freqüência de 250 kHz, posicionados em lados opostos do testemunho, permitindo que a onda emitida em um seja detectada no outro (Figueiredo *et al.* 2008).



Figura 12: Sistema de medição de Vp no MSCL. Observa-se que os transdutores estão diametralmente opostos em relação ao testemunho. Fonte: MSCL, 2007.

O sensor de densidade gama constitui em uma cápsula de 10 mili-Curie de Césio 137 protegida em um invóculo de chumbo com um colimador de 2,5 e 5 mm, produzindo energia principalmente a 0,062 MeV (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, assim como, serem um bom indicador de litologia e mudanças de porosidade. Outra aplicação importante é o calculo 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).

5.3 Descrição dos testemunhos

Nesta etapa do trabalho, foram abertos os oitos testemunhos para a descrição geológica. Todos foram fotografados e durante a descrição, consideraram-se os seguintes parâmetros: granulometria, grau de compactação e consistência, cor e teor de carbonato. Para determinar as cores, utilizou-se a Tabela de Cores de Rochas (Rock Color Chart) editada pela GSA. Os perfis gerados, após a descrição, são apresentados no Apêndice I.

Nos oito testemunhos analisados, foram identificados 13 tipos de sedimentos, nos quais foram confeccionadas legendas sedimentológicas mostradas a seguir:



5.4 Densidade Úmida e Teor de Água

A partir das amostras das seringas, obtidas no embarque, foram feitas análises de densidade úmida, teor de umidade e granulometria. Inicialmente, pesa-se a seringa vazia e etiquetada em uma balança, dotada de precisão de 10⁻⁴, e se anota o valor da numa planilha. Pesa-se novamente a seringa com amostra, e se anota o valor de densidade úmida na mesma planilha. Posteriormente, coloca-se o conteúdo das seringas em placas de *petri* e todas as amostras são levadas à estufa (50°C) para secagem. Após esse processo, as amostras serão pesadas novamente, e seus valores anotados na planilha. O teor de água é determinado pela diferença da amostra molhada e seca.

5.5 Granulometria

A granulometria 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, silte e argila de cada amostra. Caso as amostras tenham fração superior a areia fina, cujo peso amostral seja insuficiente, serão utilizadas amostras de areia do testemunho geológico do *Box-corer* respectivo das amostras das seringas. Para amostras que contiverem areia e conchas, a granulometria será realizada com peneiras de 1,00 e 2,00.

5.6 Ensaios Geotécnicos

5.6.1 Resistência ao cisalhamento

Este ensaio consiste em medir máxima tensão τ_r de cisalhamento que o sedimento pode suportar sem sofrer ruptura, ou tensão de cisalhamento do sedimento no plano em que a ruptura estiver ocorrendo. Utiliza-se o Torvane de bolso (fig. 13), um equipamento geotécnico, que possui três discos com numeração especifica aplicado conforme o comportamento da amostra.



Figura 13: Torvane de bolso, equipamento geotécnico utilizado para determinar a resistência ao cisalhamento. Fonte: Souza, 2009.

5.6.2 Ensaio de Carga

Para o ensaio de carga, utilizou-se o Penetrômetro de bolso de precisão (fig. 14). Este equipamento possui um mostrador de precisão analógico, provido de um indicador de pico, penetrador padrão de \emptyset 6,35mm com escala de 0 a 6 Kgf/cm², com divisão de 0,1Kgf/cm², além de outros 4 penetradores (\emptyset s 10, 15, 20 e 25mm).



Figura 14: Penetrômetro de mão de precisão usado para ensaio de carga, na análise geotécnica. Fonte: Souza, 2009.

6 RESULTADOS

Após a perfilagem geofísica dos oito testemunhos, os dados gerados foram plotados em perfis (com a profundidade), respectivamente. Os mesmos serão apresentados neste capítulo, junto com a descrição geológica realizada nas primeiras etapas do trabalho, vistas com maior detalhamento no apêndice I.

O comportamento dos parâmetros obtidos nos testemunhos foi analisado comparativamente entre Vp, densidade, susceptibilidade magnética e porosidade. Como a impedância acústica é uma função da velocidade de onda P e densidade, seus valores apontam possíveis mudanças faciológicas no sedimento.

6.1 Descrição dos testemunhos

Testemunho S1

O testemunho S1 localiza-se na região mais profunda da área de estudo, coletado em uma profundidade de 2104 m. Ao longo de sua descrição (fig. 15), observaram-se poucas mudanças faciológicas, ou seja, comportamento mais homogêneo. Nos intervalos de 45 a 37 cm, predomina uma lama argilosa, de média consistência e teor de carbonato médio. Entre 37 e 35 cm, observa-se uma lama siltosa, de baixa consistência, e teor de carbonato médio. Nos intervalos de 35 e 10 cm, ocorre uma lama de média consistência e uma mudança na coloração do sedimento. O teor de carbonato foi classificado como médio.

No topo testemunho, entre 10 e 0 cm, identifica-se uma lama de baixa consistência, com domínio de carbonato médio. Cabe ressaltar, que visualmente, os carbonatos apresentam distribuídos nas frações de silte e argila, em todo o testemunho.

Testemunho S2

Este testemunho (fig. 16) apresentou-se, de uma maneira geral, bem homogêneo, com o teor de carbonato médio. Entre 53 a 43 cm, identifica-se uma lama compacta. Nos intervalos de 43 a 1,0 cm e 1,0 a 0 cm , observa-se uma lama de baixa consistência, mudando apenas a cor do sedimento. O mesmo foi coletado a uma profundidade de 415 m.

Testemunho S3

O testemunho S3 foi coletado a 70 m de profundidade, representado a amostragem mais rasa deste trabalho. Sua descrição é bem característica, em vista dos outros testemunhos descritos acima (fig. 17). No intervalo de 31 a 27 cm, observa-se uma areia média, biodetríticos menos grosseiros, teor de lama aumenta em relação à camada sobrejacente, e teor de carbonato muito baixo. Entre 27 e 24 cm, a areia grada de grossa para média, biodetrítica, lamosa, com teor de carbonato médio. De 24 a 10 cm, identifica-se uma areia grossa, biodetrítica, lamosa, com teor de carbonato médio. Entre 10 e 7,0 cm, a areia grada de muito grossa para grossa, biodetrítica, lamosa e com teor de carbonato alto. Por fim, de 7,0 a 0 cm, predomina areia muito grossa, biodetrítica, com pouca lama e teor de carbonato alto.

Testemunho S4

Este testemunho foi coletado no início do talude continental, a uma profundidade de 350 m. Na base, correspondendo de 53 a 41 cm, identifica-se uma lama argilosa, de média consistência e teor de carbonato baixo (fig. 18).

De 41 a 2,0 cm, descreve-se uma areia média lamosa com teor de carbonato médio, porém nos intervalos de 41 a 21 e de 12 a 2,0, há uma média consistência, e de 21 a 13 cm, há uma baixa consistência. No topo, observa-se uma vaza de baixa consistência, entre 2,0 e 0 cm.

Testemunho S5

Semelhante ao testemunho S3, no que se diz respeito às características, o testemunho S5 também apresenta uma sedimentação diferenciada dos demais (fig. 19). Sua amostragem ocorreu a 170 m de profundidade. De 25 a 19 cm, corresponde a uma areia grossa a muito grossa, biodetrítica, lamosa, com teor de carbonato médio. Entre 19 e 8,0 cm, observa-se uma areia média à grossa, biodetrítica, lamosa e com teor de carbonato alto. E a base do testemunho, de 8,0 a 0 cm, descreve-se uma areia média à grossa, biodetrítica, lamosa e teor de carbonato médio. Vale ressaltar, que nesse intervalo, há indícios de uma sedimentação terrígena.

Testemunho S6

O testemunho S6 corresponde às amostragens feitas no talude inferior. Seu ponto de coleta foi a 1930 m de profundidade, próximo ao testemunho S1. A base é definida por uma lama siltosa, com aumento progressivo da compactação e o teor de carbonato baixo

(intervalo de 45 a 38 cm) (fig. 20). Entre 38 e 17 cm, descreve-se uma lama siltosa, com aumento progressivo da compactação e o teor de carbonato médio. O intervalo seguinte, de 17 a 13 cm, apresenta uma camada bem definida, de fragmentos de conchas. O topo é caracterizado por uma lama siltosa, de baixa consistência e com teor de carbonato baixo, abrangendo um intervalo de 13 a 0 cm.

Testemunho S7

Este testemunho foi coletado na quebra da plataforma, correspondendo a uma profundidade de 200 m. A base, de 50 a 44 cm, corresponde a uma lama argilosa com teor de carbonato baixo (fig. 21). Entre 44 e 23 cm, descreve-se uma lama argilosa, com intercalações de areia média grossa e teor de carbonato médio.

No intervalo de 14 a 2,5, identifica-se uma lama, com areia média grossa e teor de carbonato alto. De 2,5 cm a 0 cm, há uma lama siltosa com teor de carbonato alto.

Testemunho S8

O testemunho S8 foi amostrado a 115 m de profundidade, na plataforma continental média. A base, de 45 a 37 cm, é definida por lama com areia média, compactação média e teor de carbonato alto (fig. 22).

No intervalo de 37 a 23 cm, encontra-se uma lama com areia fina à média, com compactação média e teor de carbonato alto. Entre 23 e 10 cm, observa-se uma lama com areia fina, compactação média e teor de carbonato médio. De 5,0 a 2,5 cm, há uma lama siltosa, porém com teor de carbonato baixo. O topo é encontrado uma lama siltosa, pouco compactada e com conchas (intervalo de 2,5 a 0 cm).



Figura 15: Descrição geológica do testemunho S1.



Figura 16: Descrição geológica do testemunho S2.



Figura 17: Descrição geológica do testemunho S3.



Figura 18: Descrição geológica do testemunho S4.



Figura 19: Descrição geológica do testemunho S5.



Figura 20: Descrição geológica do testemunho S6.



Figura 21: Descrição geológica do testemunho S7.



Figura 22: Descrição geológica do testemunho S8.

6.2 Velocidade de onda compressional

A média dos valores de Vp para o testemunho S1 corresponde a 1490,177 m/s, para lama fluida e 1481,177 m/s, para lama muito fluida (fig. 23). Analisando o perfil de Vp, entre 0,02 m a 0,22, a velocidade não sofre variação; Entretanto, observa-se uma diminuição da velocidade, seguido de um aumento (0,24 a 0,28 m). Seguindo a descrição geologia (fig. 14), não há nenhuma mudança significativa, podendo ser atribuída a alguma estrutura sedimentar interna ou fatores que influenciam na propagação/atenuação de Vp (porosidade, densidade, teor de água, etc.). No testemunho S2, composto por lama muito fluida e compacta, possui velocidades de 1481,77 m/s e 1494,198 m/s respectivamente (apêndice I). A análise do perfil de Vp indicam que entre 0 e 0,36 m ha uma variação da velocidade (1490 m/s a 1510 m/s aproximadamente). A seguir, a velocidade aumenta e depois decresce, propagando-se na lama compacta.

Vale destacar que, no testemunho S3, há um aumento da velocidade entre 0,12 a 0,18m, e depois, mantêm-se praticamente constante ate o final do perfil. E composto assim de 5 tipos de sedimentos: 1338,685 m/s para areia muito grossa (velocidade mais baixa observada no perfil de Vp); 1484,420 m/s para areia muito grossa a grossa; 1560,268 m/s para areia grossa; 1533,782 m/s para areia grossa a media e 1529,692 m/s para areia média.

O testemunho S4 apresenta um aumento de Vp apenas entre 0,48 a 0,54 m, sendo o restante com velocidade constante. Esta variação corresponde a mudança de litologia (fig. 18); de areia media lamosa (1940,512 m/s) para lama fluida (1520,491 m/s), vistas no perfil. Porém, a velocidade media obtida de todos os testemunhos, em areia média corresponde 1529,629 m/s e na lama fluida, 1490,177 m/s.

A velocidade, no testemunho S5 (fig.19), sofre mudanças devido a diferentes litologias: entre 0,02 e 0,1 m, a velocidade aumenta (máximo de 1510,47 m/s) na areia grossa a media; de 0,1 a 0,2 m permanece constante; e de 0,2 a 0,26 m, a velocidade decresce (mínimo de 1439,612 m/s).

No testemunho S6, destaca-se a camada de fragmento de conchas, tendo como exemplo, os valores médios de Vp nos respectivos intervalos: de 0,04 a 0,1 m, 1452,640 m/s em lama muito fluida; 0,12 a 0,18 m, 1475,081 m/s (camada de conchas); de 0,2 a 0,38 m, 1455,684 m/s em lama fluida; e de 0,38 em diante, 1479,822 m/s em lama compacta (fig. 23).

O testemunho S7 apresenta variação na velocidade, entre 0,28 a 0,38 m, pois há intercalações de areia media grossa em lama fluida (media de 1547,880 m/s), com pequeno decréscimo de Vp médio para 1523,566 m/s. De 0,40 a 0,50 m, a velocidade média aumenta para 1539,054 m/s em lama fluida.

E por fim, o testemunho S8, de 0,1 a 0,4 m, apresentam quatro litologias diferentes, em que: lama muito fluida, Vp corresponde a 1533,461 m/s; lama fluida, com 1509,209 m/s; lama com areia fina, com 1501,951 m/s; e lama com areia fina a muito fina, com 1497,799 m/s. De 0,4 até a base, a velocidade aumenta para 1541,060 m/, em lama com areia media.



Figura 23: Perfis de velocidade de onda P dos oito testemunhos.

6.3 Densidade

No testemunho S1 (fig. 24) não há uma variação significativa de densidade, apresentando valores de em lama muito fluida de 1,429 g/cm³ e 1,602 g/cm³, e em lama compacta de 1,554 g/cm³ e 1,512 g/cm³. O mesmo é visto no testemunho S2, em que a densidade em lama fluida corresponde a 1,628 g/cm³ e em lama compacta, 1,510 g/cm³.

O testemunho S3 observa-se mudança na densidade entre 0,24 e 0,27 m, com transição de dois tipos de sedimentos: areia grossa (1,833 g/cm³) e areia de grossa a média (1,642 g/cm³). Depois, a densidade aumenta para 1,682 g/cm³ em areia média.

A densidade vista no testemunho S4 mostra pouca variação entre 0,04 a 0,36 m, entretanto há um aumento acompanhado de um decréscimo, conforme a mudança litológica, isto é, de areia media para lama fluida (fig. 24)

O testemunho S5, a densidade aumenta e se mantêm constante entre 0,06 a 0,2 m, correspondendo a areia media grossa (media de 1,694 g/cm³). De 0,2 ate a base, temse uma variação de valores, em areia grossa a muito grossa (media de 1,567 g/cm³). Essas variações podem ser atribuídas a presença de biodetritos, que proporcionam um aumento do espaço poroso, diminuindo assim a densidade.

Nitidamente observa no testemunho S6 a redução da densidade associada a camada de fragmento de conchas (1,238 g/cm³). No sedimento sobrejacente (lama muito fluida), o valor médio de densidade vale 1,375 g/cm³ e nos sedimentos subjacentes (lama fluida e compacta), valem 1,421 g/cm³ e 1,556 g/cm³, respectivamente.

O testemunho S7 não há mudanças significativas na densidade, apenas poucas variações relacionados há mudanças litológicas. No testemunho S8, há um aumento entre 0,1 e 0,14 e um decréscimo, de 0,44 a 0,46. Segundo a descrição geológica, não

encontra-se mudanças, mas essas variações podem estar associadas a porosidade e condições de saturação.



Figura 24: Perfis de densidade dos oito testemunhos.

6.4 Susceptibilidade Magnética

No testemunho S1, os valores de susceptibilidade sofrem poucas variações: lama muito fluida, com 3,677 e 5,143 (x10⁻⁶ SI), e lama fluida, com 4,606 e 4,402 (x10⁻⁶ SI). O testemunho S2 também não apresenta variações: lama muito fluida, com 5,541 (x10⁻⁶ SI) e lama compacta, com 4,814 (x10⁻⁶ SI) (fig. 25).

E valido ressaltar, que no testemunho S3 (fig. 24), os valores de susceptibilidade apresentam negativos e positivos, ou seja, diamagnéticos e paramagnéticos. Já o testemunho S4, apresentam os maiores valores de susceptibilidade: areia media, com 147,022 ($x10^{-6}$ SI) e lama fluida, com 120,262 ($x10^{-6}$ SI).

O testemunho S5 mostra um decréscimo de valores de susceptibilidade: areia grossa a média, com 2,508 (x10⁻⁶) e areia grossa a muito grossa, com 1,762 (x10⁻⁶ SI). Os valores de susceptibilidade no S6 decrescem na camada de fragmento de conchas (1,559 x10⁻⁶ SI) e aumento e ligeiro decréscimo até a base: lama fluida, com 4,272 (x10⁻⁶ SI) e lama compacta, com 4,166 (x10⁻⁶ SI) (apêndice I).

Os valores, no testemunho S7, mantém sem variação de 0,08 a 0,26 m, aumentando ate 0,34m. A partir de então, ocorrem ligeiros decréscimos e aumentos até base do testemunho. Por fim, o testemunho S8 apresenta-se constante em sua totalidade, variando apenas no topo e base (fig. 25).



Figura 25: Perfis de susceptibilidade magnética dos oito testemunhos.

6.5 Impedância Acústica

Os perfis de impedância acompanham as tendências de Vp e densidade, uma vez que seus valores são obtidos atreves do produto de ambas grandezas. Este parâmetro auxilia na identificação de diferentes tipos de sedimentos, através de contraste nos contatos sedimentares.

No testemunho S1 (fig. 26), observa-se as transições de lama muito fluida a fluida, com valores de 2077,362 (0 a 0,1 m) e 2355,091 (0,34 a 0,36 m) a 2268,219 (0,12 a 0,32 m) e 2271,930 (0,38 a 0,42m) (m/s.g/cm³). O testemunho S2, entre 0,1 a 0,43 m, há um aumento progressivo da impedância em lama fluida (2433,801 m/s.g/cm³), acompanhado de um decréscimo para lama compacta (2272,847 m/s.g/cm³).

O testemunho S3, de 0,1 a 0,12 m, apresenta valor de 2348,863 (m/s.g/cm³) em areia muito grossa; de 0,12 a 0,16 m, com 2835,222 (m/s.g/cm³) em areia muito grossa a grossa; de 0,16 a 0,30 m, com 2860,512 (m/s.g/cm³) em areia grossa; e 0,30 até a base, com 2638,316 (m/s.g/cm³) em areia média (fig. 26).

O valor de impedância, no testemunho S4, apresentam um aumento progressivo entre 0,04 e 0,46m. Desde então, até a base, há um decréscimo devido a transição de areia média para lama fluida. O testemunho S5 mostra mudança de impedância a partir de 0,18 m, ou seja, corresponde a transição areia media grossa a areia grossa a muito grossa.

A camada de fragmento de conchas se destaca em relação ao sedimento sobrejacente e subjacente, bem marcado no perfil do testemunho S6. Os testemunhos S7 e S8 identificam-se algumas pequenas variações, em todo perfil.



Figura 26: Perfis de impedância acústica dos oito testemunhos.

6.6 Porosidade

O testemunho S1 apresenta um decréscimo de porosidade, observado no perfil (fig. 27), desde 0,08 a 0,34 m (lama muito, com 0,766 e fluida e lama fluida, com 0,694). No testemunho S2, os valores apresentam-se constantes em todo o perfil.

No testemunho S3, os valores se mantêm constantes entre 0,1 e 0,3 m e voltam a aumentar até a base. Já no testemunho S4, há uma diminuição, com algumas variações (0,02 a 0,4 m) em areia média (media de 0.638).

Existe pouca variação de porosidade no testemunho S5 (fig. 27), apenas entre 0,22 a 0,26m, em areia grossa a muito grossa (media de 0,686). O mesmo pode ser observado para o testemunho S6, onde há uma significativa mudança na camada de conchas em relação aos sedimentos inferior e superior (apêndice I).

No testemunho S7, os valores de porosidade acompanham a mudança dos tipos de sedimentos. O perfil S8 mostra uma variação muito pequena dos valores de porosidades, apresentando uma maior mudança no topo e na base.



Figura 27: Perfis de porosidade dos oito testemunhos.

6.7 Resistência ao Cisalhamento

O testemunho S1 (fig. 28) apresenta um aumento, entre 0,06 e 0,26 m, com variações, numa faixa de 0,36 a 0,96 (kg/cm²). Em seguida, há um decréscimo de valores até a base. No testemunho S2, os valores médios variam numa faixa de 0,533 a 0,90(kg/cm²).

Os valores de resistência ao cisalhamento, no testemunho S3, acompanham a mudança litológica: areia muito grossa, com 0,38 (kg/cm²); areia muito grossa a grossa, com 0,517 (kg/cm²); areia grossa, com 0,553 (kg/cm²); e areia média, com 0,620 (kg/cm²).

Nos testemunhos S4 e S6, os valores mostram um aumento sucessivo da resistência ao cisalhamento. O perfil do testemunho S5 e S7 acompanham as mudanças das litologias (fig. 28).

E importante ressaltar, no testemunho S8, um aumento da resistência entre 0,26 a 0,30m (transição de areia fina para areia fina média). A coesão ou atrito entre os grãos podem influenciar nessa medida.



Figura 28: Perfis de resistência ao cisalhamento dos oito testemunhos.

6.8 Ensaio de Carga

No testemunho S1 (fig. 29), o perfil possui o mesmo comportamento comparado com resistência ao cisalhamento. Os testemunhos S2, S4 e S6 apresentam um aumento sucessivo, com pequenas variações.

Os perfis de S3 e S5 mostram uma tendência semelhante quanto ao decréscimo dos valores conforme a mudança dos tipos de sedimentos (fig. 29). Por exemplo, no testemunho S5, os valores para areia média a grossa correspondem a 2,80 (kg/cm²) e para areia grossa a muito grossa correspondem a 0,79 (kg/cm²).

Os testemunhos S7 e S8 também apresentam mudanças em relação as litologias. Observa-se uma mudança brusca no testemunho S7, entre 0,26 e 0,28 m, onde há apenas lama fluida. Entretanto, no testemunho S8, entre 0,20 e 0,26 acompanha a mudança de areia fina (0,35 kg/cm²) para areia fina média (0,54 kg/cm²).



Figura 29: Perfis de ensaio de carga dos oitos testemunhos.

7 DISCUSSÃO

A partir dos resultados descritos anteriormente, neste capítulo será feita uma análise das médias de valores encontrados em cada parâmetro, assim como a confecção de mapas regionais apresentados esses valores, numa distribuição por grupos conforme a batimetria.

7.1 Granulometria

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 (fig. 30).

Observa-se que os testemunhos S1, S2, S4, S6 e S7 possuem a maior fração granulométrica de lama, ou seja, o conteúdo de argila e silte (principalmente) são bem expressivos. Já os testemunhos S3, S5 e S8 apresentam frações desde cascalho até areia muito fina (fig. 30).

Segundo trabalhos realizados por Figueiredo Jr. e Madureira (1999), as regiões de plataforma interna e média predominam sedimentos de granulometria areia, porém há locais onde se destacam granulometrias de areia cascalhosa, areia lamosas e lama arenosa. È 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).

Através de estudos de Kowsmann & Costa (1974) e Rocha et al (1975), caracterizou-se que na plataforma externa, encontram-se componentes de fáceis carbonáticas, em mau estado de preservação, devido a uma fase de retrabalhamento em ambiente de alta energia.



Figura 30: Mapa da área de estudo com valores médios de granulometria dos oito testemunhos.
7.2 Velocidade de onda P

Os valores médios de Vp, observados no mapa regional (fig. 31), mostram faixas de valores próximos, como nos testemunhos S3 e S8, localizados na plataforma interna e média. Já os testemunhos S2, S4 e S5 apresentam valores médios próximos. Interessante destacar que S5 localiza-se na plataforma externa e S2 e S4 estão no talude. No caso do S1 e S6, presentes no talude inferior, possuem valores próximos e são os mais baixos em relação aos outros. O testemunho S7 se destaca de todos os outros, com a velocidade de onda P mais alta e se localiza na quebra da plataforma continental.



Figura 31: Mapa da área de estudo com valores médios de velocidade de onda P dos oito testemunhos.

Observado os dados de valores médios de Vp (apêndice I) para cada tipo de sedimento identificado, a partir de cada descrição geológica feita com os testemunhos, os testemunhos S3 e S8 possuem uma granulometria e tipos de sedimentos semelhantes, que refletem 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. Porém, existem outros fatores que podem atenuar essa velocidade, em comparação com os outros valores encontrados em S2, S4 e S5, por exemplo. Um fator interessante que se pode aferir é a presença significativa de carbonatos no sedimento, criando mais espaço poroso, além da presença de fluidos (ar ou água).

Uma outra situação peculiar são os valores de Vp nos testemunhos S1 e S6, uma vez que se encontram no talude inferior e o predomínio é de lama (muito fluida a compacta), sedimentos mais homogêneos e menos sensível a mudanças na propagação. Segundo Hamilton (1972), em siltes e argilas com altas porosidades, tanto para medidas em laboratório quanto para in situ, a velocidade de onda P é usualmente menor no sedimento que na água. Uma outra sugestão é em relação a presença de carbonatos e ausência de água, que podem afetar a medida de Vp, atenuando-a.

7.3 Densidade

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

Podem-se observar os valores médios de densidade no ponto S3, por exemplo, que se destaca dos demais, por possuir o maior valor (1,787 g/cm²) (fig. 32). Este

testemunho possui uma granulometria bem definida, pela alta percentagem de fração cascalho, bem como, as frações de areias.

Os pontos S2, S4, S5, S7 e S8 apresentam uma faixa de valores próximas (1,6 a 1,7 g/cm² aproximadamente). Os testemunhos S2, S4 (localizados no talude) e S7 (localizado na borda de plataforma continental) apresentam granulometria semelhantes. Entretanto, os testemunhos S5 e S8 apresentam frações granulométricas semelhantes.

Os testemunhos S1 (1,53 g/cm³) S6 (1,449 g/cm³) possuem os menores valores de densidade, e ambos estão localizados no talude inferior.



Figura 32: Mapa da área de estudo com valores médios de porosidade dos oito testemunhos.

7.4 Susceptibilidade Magnética

Os valores de susceptibilidade magnética (fig. 33) mostram valores médios peculiares, variando de -6,119 (x10⁻⁶ SI) (S3) a 143,440 (x10⁻⁶ SI) (S4).

Os testemunhos S2 (5,433 x10⁻⁶ SI) e S7 (5,196 x 10⁻⁶ SI) apresentam valores semelhantes, e estão em profundidades próximas (S2 no talude e S7 na quebra da plataforma continental).

Nos pontos S1 (talude inferior) e S5 (plataforma externa/quebra da plataforma) apresentam valores de 4,473 x10⁻⁶ SI e 2,248 x10⁻⁶ SI respectivamente, enquanto S6 (3,506 x10⁻⁶ SI) e S8 (3,772 x10⁻⁶ SI) possuem valores próximo, apesar de estarem a profundidades distintas (fig. 33).

O testemunho S4 tem o maior valor registrado de susceptibilidade. Vale ressaltar que, seus valores estão nessa faixa em todo o sedimento perfilado. E possível que este valor esteja coerente, uma vez que na literatura, foram coletados e medidos sedimentos com esses valores (Frederichs, 1996).



Figura 33: Mapa da área de estudo com valores médios de susceptibilidade magnética dos oito testemunhos.

7.5 Impedância Acústica

O valor de impedância acústica de S3 (fig. 34) destaca-se em relação aos demais, sendo o maior valor (2708,631 m/s.g/ cm³), influenciados pela maior densidade e um dos maiores valores de Vp.

Pode-se dizer que, os testemunhos S2, S4, S5, S7 e S8 (fig. 34), apresentam valores intermediários em torno de 2500 m/s.g/ cm³. Os testemunhos S1 e S6, presentes no talude inferior, possuem os menores valores de impedância acústica (2247,814 m/s.g/ cm³ e 2097,488 m/s.g/ cm³ respectivamente). Entretanto, esses valores de impedância de

S1 e S6 possuem menores valores de Vp (em torno de 1460 m/s) e os maiores valores de porosidade (em torno de 0,70).



Figura 34: Mapa da área de estudo com valores médios de impedância acústica dos oito testemunhos.

7.6 Porosidade

O testemunho S3 tem o menor valor de porosidade ($\Phi < 0,6$). Os testemunhos S2, S4, S5, S7 e S8 (fig. 35) estão na mesma faixa de valores de porosidade ($0,6 < \Phi < 0,7$) e S1 e S6 também se mostram próximos ($\Phi > 0,7$). Um fato a ser considerado são os altos valores de porosidade nos testemunhos S1 e S6, uma vez que, em suas totalidades, encontram-se lamas. Subentendem-se assim, uma baixa porosidade e permeabilidade, mas sedimentos com teor de argila, podem ser muito porosos devido a forma do mineral argila e seu respectivo arranjo durante a deposição e compactação.



Figura 35: Mapa da área de estudo com valores médios de porosidade dos oitos testemunhos.

7.7 Resistência ao Cisalhamento

A distribuição de resistência ao cisalhamento (fig. 36) não segue uma tendência entre os testemunhos, comparados com os outros parâmetros físicos. Os mesmos tem indicado medidas singulares, podendo ser relacionados com ensaio de carga (parâmetro geotécnico). Os testemunhos S3 (Su > 0,9 Kg/m²) e S8 (0,536 Kg/m²) não apresentam valores próximos ou semelhantes aos outros pontos. Nos pontos S1 e S4, as medidas podem ser consideradas no intervalo de 0,8 <Su <0,9.

Os testemunhos S2 e S7 estão no mesmo domínio morfológico, estando com valores de 0,6 < Su <0,7.

E por fim, os testemunhos S5 e S6 apresentam respectivos valores de 0,286 Kg/m^2 e 0,334 Kg/m^2 , medidas semelhantes.



Figura 36: Mapa da área de estudo com valores médios de resistência ao cisalhamento dos oito testemunhos.

7.8 Ensaio de Carga

Assim como resistência ao cisalhamento, o testemunho S3 possui maior valor de ensaio de carga, correspondente a 0,900 Kg/m² (fig. 37).

Os testemunhos S1 (0,827 Kg/m²), S4 (0,832 Kg/m²) e S6 (0,788 Kg/m²) possuem valores próximos, sendo que o S1 e S6 estão no mesmo domínio morfológico (talude inferior) e S4 situado na quebra da plataforma continental (fig. 36). Entre os testemunhos S2 (0,352 Kg/m²) e S8 (0,406 Kg/m²), os valores estão em 0,3 < P < 0,5 e nos testemunhos S5 (1,906 kg/m²) e S7 (1,103 Kg/m²) estão em 1,0 < P < 2.0



Figura 37: Mapa da área de estudo dos valores médios de ensaio de carga dos oito testemunhos.

Após a discussão dos valores médios dos parâmetros físicos plotados nos mapas, foi definida uma divisão de três grupos, seguindo o domínio morfológico presentes na área de estudo, vistos na tabela 6.

O grupo 1 é definido como domínio de plataforma interna, apresentando as seguintes características: sedimentos mais grosseiros (altos teores de cascalho); valores médios mais altos de Vp (> 1500 m/s); maior media de densidade (1,787 g/cm³); menor média de susceptibilidade magnética (-6,119 x10⁻⁶ SI); maior média de impedância acústica (2708,631 m/s.g/ cm³); menor valor médio de porosidade (Φ < 0,6); maior média de resistência ao cisalhamento (0,900 Kg/m²); e maior média de ensaio de carga (4,235 Kg/m²).

O domínio de plataforma externa e talude superior, definido como grupo 2, caracteriza-se por: sedimentos com maior fração silte; valores médios intermediários de velocidade de onda P (1490 m/s aproximadamente); valores médios intermediários de susceptibilidade magnética ($2 < \chi < 6$) e sua exceção (143,440 x10⁻⁶ correspondente ao S4); valores médios intermediários de densidade ($1,6 < \rho < 1,7$); valores médios intermediários de densidade ($1,6 < \rho < 1,7$); valores médios intermediários de impedância acústica ($I \approx 2500 \text{ m/s.g/ cm}^3$); valores médios intermediários de porosidade ($\Phi \approx 0,6$); valores médios intermediários de resistência de cisalhamento (0,2 < Su < 0,7); e valores médios intermediários de ensaio de carga (0,3 < P < 2,0).

O grupo 3, que consiste no domínio de talude inferior, pode ser definido por: sedimentos com maior fração silte; menores valores médios de Vp (> 1490 m/s); menores valores médios de susceptibilidade magnética (entre 3,0 e 5,0); menores valores médios de densidade (ρ < 1,6); menores valores de impedância acústica (I < 2300 m/s.g/ cm³); maiores valores médios de porosidade (Φ > 0,7); alto valor médio de resistência ao cisalhamento (0,842 Kg/m² correspondente ao testemunho S1); e valores médios altos de ensaio de carga (P ≈ 8,0).

		Parâmetros Físicos									
Domínios Morfológicos	Granulometria	Vp	Susceptibilidade Magnética	Densidade	Impedância Acústica	Porosidade	Su	Ensaio de Carga			
Grupo 1 (plataforma interna)	S3 - <mark>S5</mark> - S8	S3 - S7 - S8	S3 – S8	\$3	\$3	\$3	S3 – <mark>S8</mark>	S3 – S8			
Grupo 2 (plataforma externa/talude superior)	S2 - S4 - S7	S2 - S4 - S5	S2 – S4 – S5 - S7	S2 - S4 - S5 - S7 - <mark>S8</mark>	S2 - S4 - S5 - S7 - <mark>S8</mark>	S2 - S4 - S5 - S7 - <mark>S8</mark>	S2 – S4 – S5 - S7	S2 – S4 – S5 – S7			
Grupo 3 (talude inferior)	S1 – S6	S1 - S6	S1- S6	S1 - S6	S1 - S6	S1 - S6	S1 – S6	S1 – S6			

Tabela 6: Grupos de domínios morfológicos associados aos valores médios dos parâmetros físicos encontrados nos oito testemunhos.

8 CONCLUSÃO

Todas as etapas integradas com a aplicação da metodologia escolhida mostraramse coerente com resultados obtidos, visto que, pequenas alterações foram necessárias com o desenvolvimento do trabalho. Algumas sugestões serão dadas e indicadas para pesquisas futuras, a fim de complementar esta pesquisa e enriguecer a literatura.

Foram coletados oito testemunhos na parte central da bacia de Santos, perfazendo um total de 3,50 metros de sedimentos, aproximadamente. Dos mesmos, definiu-se treze tipos de sedimentos a partir da descrição geológica: conchas, areia muito grossa, areia muito grossa a grossa lamosa, areia grossa lamosa, areia grossa a média lamosa, areia média lamosa, lama com areia média grossa, lama com areia média, lama com areia média a fina, lama com areia fina, lama muito fluida, lama fluida e lama compacta. Destes testemunhos obtiveram-se os seguintes parâmetros físicos a serem estudados: velocidade de onda P, densidade, susceptibilidade magnética, impedância acústica, porosidade, granulometria, resistência ao cisalhamento e ensaio de carga.

Através da discussão apresentada no capitulo anterior, estabeleceu-se a divisão de três grupos definidos pelos domínios morfológicos e suas respectivas características. O grupo 1 é definido como plataforma interna, onde observa-se que o testemunho S3, encaixa-se em todos os parâmetros. Já o testemunho S8, que se localiza também na plataforma interna, possui algumas características do grupo 1, porém se assemelha `as características do grupo 2, através dos parâmetros densidade, impedância acústica e porosidade.

O grupo 2, definido como plataforma externa e talude inferior, detêm a maioria dos testemunhos (S2, S4, S5, S7) e em alguns casos, o S8. É importante ressaltar que, o testemunho S4 apresenta uma peculiaridade em relação a susceptibilidade magnética, pois este valor se mostra muito superior em relação aos outros (143,440 x10⁻⁶). Neste caso,

sugere-se uma análise mais cuidadosa, como por exemplo, estudos de minerais pesados e análise mineralógica. O testemunho se mostra semelhante aos testemunhos S1 e S6 quanto a descrição geológica e granulometria, mas possui uma susceptibilidade discrepante. Este valor de susceptibilidade encontrado pode ser visto em diversos estudos, citados anteriormente nesta monografia, isto e, representa um valor possível, real.

O grupo 3, que consiste no domínio talude inferior, possui dois testemunhos predominantes em todos os parâmetros: S1 e S6. Ambos se assemelham quanto a descrição geológica, granulometria, velocidade de onda P e porosidade. Em relação aos outros parâmetros, seus valores se mostram próximos ou dentro de um intervalo. Um fato a ser considerado são os altos valores de porosidade, uma vez que, em suas totalidades, encontram-se lamas. Subentendem-se assim, uma baixa porosidade e permeabilidade, mas sedimentos com teor de argila podem ser muito porosos devido a forma do mineral argila e seu respectivo arranjo durante a deposição e compactação.

Os parâmetros geotécnicos são muito particulares quando comparados aos outros parâmetros físicos. Seus valores não sugerem uma divisão baseada no domínio morfológico, pois ha muitas variações nos resultados médios obtidos. De certa forma é interessante correlacioná-los com mais parâmetros geotécnicos, podendo identificar outros domínios ou classificações, que não sejam necessariamente morfológicos. Em suma, utilizando-se desses valores dentro dos domínios sugeridos neste trabalho, afirma que sedimentos semelhantes (granulometria, descrição geológica, entre outros) podem apresentar uma resposta fisicamente diferente.

Portanto, através da análise dos parâmetros físicos e a correlação com os domínios morfológicos, é possível aferir uma modelagem geoacústica do fundo marinho, com a resposta e o comportamento dos sedimentos marinhos superficiais saturados.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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.
- AYRES, A. & THEILEN, F. 1997 Seismiche 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.* 22nd Annual Meeting of the European Geophysical Society, Vienna, Austria.
- AYRES, A. & THEILEN, F. 1998 *Physical Properties versus Engineering and Environmental Parameters of Marine Sediments.* 60th Conference and Technical Exhibition of the European Association of Geoscientists and Engineers, Leipzig, Germany.
- AYRES, 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, 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.
- 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.

- BREITZKE, M; FIGUEIREDO A.; AYRES NETO, A; ESTEVES, M.P.; RICHTER, M.; 1993.
 Physical Properties Studies. Report and preliminary results of METEOR- Cruise M 23/2. Rio de Janeiro Recife.(04.02 12.04.1993). N. 94-1.
- BUCKINGHAM, M. J. 2005. *Compressional and shear wave properties of marine sediments: comparisons between theory and data.* J. Acoust. Soc. Am., v.117, n.1, p. 137 152.
- 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.
- COLLINS, W.T. & RHYNAS, K.P. 1998 Acoustic Seabed Classification using Echo Sounders: Operational Considerations and Strategies. In Anais Canadian Hydrographic Conference- 1998, Victoria, Canada
- BREITZKE, M; FIGUEIREDO A.; AYRES NETO, A; ESTEVES, M.P.; RICHTER, M.; 1993.
 Physical Properties Studies. Report and preliminary results of METEOR- Cruise M 23/2. Rio de Janeiro Recife.(27.02 19.03.1993). N. 94-1.
- DOBENECK, T.V.; GRIGEL, J.; RICHTER, M.; SCHMIDT, A.; SPIEB, V. 1993. Physical Properties Studies. Report and preliminary results of METEOR- Cruise M 23/1. Cape Town/South Africa – Rio de Janeiro/Brazil. (04.02 – 25.02.1993). N. 94-1.
- FALCAO, L.C. 2009. Parâmetros físicos de sedimentos marinhos superficiais da região costeira de Caravelas, Sul da Bahia. Monografia. Lagemar UFF.
- FIGUEIREDO JUNIOR, A.G.; ABUCHACRA, R. C.; VASCONCELOS, S. C.; SANTOS, R. A.; SAMPAIO, M. B.; VIANNA, P. J. A.; SILVA, F. T.; DE TOLEDO, B. M. Perfilador Multi-Sensor Geotek para Testemunhos (Aplicação em Análises Não-Destrutivas de Testemunhos Sedimentares). Anais do 44° Congresso Brasileiro de Geologia. Curitiba, 2008.
- FIGUEIREDO JUNIOR, A.G. & MADUREIRA, L.S.P. 2004 Topografia, composição, refletividade do substrato marinho e identificação de províncias sedimentares na Região Sudeste-Sul do Brasil. Série de Documentos REVIZEE Score Sul.

- FIGUEIREDO JUNIOR, A.G. & TESSLER, M.G. 2004 Topografia, composição do substrato marinho da Região Sudeste-Sul do Brasil. Série de Documentos REVIZEE – Score Sul.
- FREDERICHS, T.; SCHMIEDER, F.; HUBSCHER, C.; FIGUEIREDO , A.; COSTA, E. 1996.
 Physical Properties Studies. Report and preliminary results of METEOR- Cruise M 34/4. Recife Bridgetown (19.03 15.04.1996). N. 80.
- FREUND, D. 1992. Ultrasonic Compressional and Shear Velocities in Dry Clastic Rocks as a Function of Porosity, Clay content and Confining Pressure. Geophysics. J. Int., Vol 108. P: 125 – 135.
- GEOTEK Multi Sensor Core Logger systems (MSCL): *General product overview and price guide MSCL.* February 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.
- 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.
- MACEDO, H.C. 2006. Análise da propagação de ondas compressionais (P) em sedimentos marinhos. Dissertação de Mestrado. Lagemar – UFF.

- 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.). Petrobrás. pp.361-376
- 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.
- PETERSON, N., BLEIL, U. 1982. Magnetic properties of rocks. In: Landolt-Borrnstein Numerical Data and Functional Relationship in Science and Technology (K – H. Hellwege, ed). New series; Group V. Geophysics and space Research, Vol 1 Physical Properties of Rocks, Subvolume b, 366 – 432 Springer- Verlag Berlin. Heildelberg. New York 1982.
- PINTO, C. S. 2006. Curso Básico em Mecânica dos Solos em 16 aulas. Terceira edição. Editora Oficina de Textos, São Paulo.
- RICHARDSON, M. D.; BRIGGS, K. B. 1996. *In situ laboratory geoacustic measurements in soft mud and hard-packed sand sediments: Implications for high-frequency acoustic propagation and scattering.* Geo-Marine Letters, v. 16, p. 196-203.
- RICHARDSON, M. D.; BRIGGS, K. B. 2004. Empirical predictions of seafloor properties based on remotely measured sediment impedance. High Frequency Ocean Acoustic.
 Editors: Porter, M. B.; Siderius, M.; Kuperman, W. A. La Jolla, California, USA. American Institute of Physics, p. 12 21.
- 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.
- SCHON, J.H. 1996. *Phisycal properties of rocks: fundamentals and principles of petrophysics*. Vol.18 Chapter 3.
- SCHLUMBERGER, 1987. Log interpretation principles/applications. N.Y.: Schlumberger Ltd., p 11-4.

- 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.* 17TH Isope Conference, Lisboa.
- SCHMITZ, C.S. 2000. Mecanica dos Solos.Modulo Geral 1. Curso Tecnico de Edificacoes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas, RS.
- THEILEN, F. AYRES, A. & LANGE, G. 1997 *Physical Properties of Near Surface Marine Sediments*. 59th 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 self 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: Hovem, J.M. et al. (Eds.), Shear Wave in Marine Sediments. P: 29-39.

10 APÊNDICE I

VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS EM CADA TIPO DE SEDIMENTO

				T1A				
Profundidade (m)	Descricao Geológica (m)	Vp media	Densidade média	Susceptibilidade média	Impedancia média	Porosidade media	Su media	Ensaio de carga media
0,06	lama muito fluida	1453,766	1,429	3,677	2077,362	0,766	0,36	0,32
0,08	lama muito fluida	1453,766	1,429	3,677	2077,362	0,766	0,36	0,32
0,10	lama muito fluida	1453,766	1,429	3,677	2077,362	0,766	0,36	0,32
0,12	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,14	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,16	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,18	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,20	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,22	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,24	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,26	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,28	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,30	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,32	lama fluida	1459,656	1,554	4,606	2268,219	0,694	0,96	1,00
0,34	lama muito fluida	1469,890	1,602	5,143	2355,091	0,666	1,01	0,90
0,36	lama muito fluida	1469,890	1,602	5,143	2355,091	0,666	1,01	0,90
0,38	lama fluida	1455,397	1,512	4,402	2271,930	0,718	0,78	0,67
0,40	lama fluida	1455,397	1,512	4,402	2271,930	0,718	0,78	0,67
0,42	lama fluida	1455,397	1,512	4,402	2271,930	0,718	0,78	0,67

				T2A				
Profundidade (m)	Descrição Geológica	Vp media	Densidade média	Susceptibilidade média	Impedância média	Porosidade media	Su media	Ensaio de carga media
0,02	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,04	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,06	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,08	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,10	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,12	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,14	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,16	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,18	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,20	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,22	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,24	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,26	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,28	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,30	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,32	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,34	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,36	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,38	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,40	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,42	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,44	lama muito fluida	1496,126	1,628	5,541	2433,801	0,651	0,533	0,27
0,46	lama compacta	1508,573	1,510	4,814	2217,416	0,719	0,90	0,62
0,48	lama compacta	1508,573	1,510	4,814	2217,416	0,719	0,90	0,62
0,50	lama compacta	1508,573	1,510	4,814	2217,416	0,719	0,90	0,62
0,52	lama compacta	1508,573	1,510	4,814	2217,416	0,719	0,90	0,62

	T3A										
Profundidade (m)	Descrição Geológica	Vp media	Densidade media	Susceptibilidade media	Impedância média	Porosidade media	Su media	Ensaio de Carga media			
0,00	areia muito grossa	1262,2874	1,837	-32,862	2348,386	0,529	0,38	9,68			
0,02	areia muito grossa	1262,2874	1,837	-32,862	2348,386	0,529	0,38	9,68			
0,04	areia muito grossa	1262,2874	1,837	-32,862	2348,386	0,529	0,38	9,68			
0,06	areia muito grossa	1262,2874	1,837	-32,862	2348,386	0,529	0,38	9,68			
0,08	areia muito grossa a grossa	1529,2285	1,853	-9,736	2835,222	0,517	0,83	6,60			
0,10	areia muito grossa a grossa	1529,2285	1,853	-9,736	2835,222	0,517	0,83	6,60			
0,12	areia grossa lamosa	1560,268	1,833	-1,102	2860,512	0,553	0,70	3,05			
0,14	areia grossa lamosa	1560,268	1,833	-1,102	2860,512	0,553	0,70	3,05			
0,16	areia grossa lamosa	1560,268	1,833	-1,102	2860,512	0,553	0,70	3,05			
0,18	areia grossa lamosa	1560,268	1,833	-1,102	2860,512	0,553	0,70	3,05			
0,20	areia grossa lamosa	1560,268	1,833	-1,102	2860,512	0,553	0,70	3,05			
0,22	areia grossa lamosa	1560,268	1,833	-1,102	2860,512	0,553	0,70	3,05			
0,24	areia grossa lamosa	1560,268	1,833	-1,102	2860,512	0,553	0,70	3,05			
0,26	areia grossa a media lamosa	1557,0894	1,642	1,108	2556,387	0,650	1,10	1,84			
0,28	areia media lamosa	1568,872	1,682	0,861	2638,916	0,620	1,80	3,31			
0,30	areia media lamosa	1568,872	1,682	0,861	2638,916	0,620	1,80	3,31			

				T4A						
Profundidade (m)	Descrição Geológica	Vp media	Densidade média	Susceptibilidade média	Impedância média	Porosidade media	Su media	Ensaio de Carga media		
0	vaza muito fluida	1498,108	1,585	152,208	2375,200	0,676	0,24	0,30		
0,02	vaza muito fluida	1498,108	1,585	152,208	2375,200	0,676	0,24	0,30		
0,04	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,06	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,08	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,10	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,12	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,14	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,16	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,18	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,20	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,22	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,24	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,26	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,28	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,30	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,32	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,34	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,36	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,38	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,40	areia media lamosa	1490,5119	1,645	147,002	2452,386	0,638	0,702	0,791		
0,42	lama fluida	1520,4914	1,650	120,262	2508,212	0,651	1,213	1,163		
0,44	lama fluida	1520,4914	1,650	120,262	2508,212	0,651	1,213	1,163		
0,46	lama fluida	1520,4914	1,650	120,262	2508,212	0,651	1,213	1,163		
0,48	lama fluida	1520,4914	1,650	120,262	2508,212	0,651	1,213	1,163		
0,50	lama fluida	1520,4914	1,650	120,262	2508,212	0,651	1,213	1,163		

	T5A									
Profundidade (m)	Descrição Geológica	Vp media	Densidade média	Susceptibilidade média	Impedancia média	Porosidade media	Su media	Ensaio de Carga media		
0,02	areia media a grossa lamosa	1510,474	1,694	2,508	2593,092	0,613	1,42	2,799		
0,04	areia media a grossa lamosa	1510,474	1,694	2,508	2593,092	0,613	1,42	2,799		
0,06	areia media a grossa lamosa	1510,474	1,694	2,508	2593,092	0,613	1,42	2,799		
0,08	areia media a grossa lamosa	1510,474	1,694	2,508	2593,092	0,613	1,42	2,799		
0,10	areia média a grossa lamosa	1510,474	1,694	2,508	2593,092	0,613	1,42	2,799		
0,12	areia média a grossa lamosa	1510,474	1,694	2,508	2593,092	0,613	1,42	2,799		
0,14	areia média a grossa lamosa	1510,474	1,694	2,508	2593,092	0,613	1,42	2,799		
0,16	areia média a grossa lamosa	1510,474	1,694	2,508	2593,092	0,613	1,42	2,799		
0,18	areia grossa a muito grossa Iamosa	1510,474	1,567	1,726	2499,548	0,686	1,438	0,791		
0,20	areia grossa a muito grossa lamosa	1439,612	1,567	1,726	2499,548	0,686	1,438	0,791		
0,22	areia grossa a muito grossa lamosa	1439,612	1,567	1,726	2499,548	0,686	1,438	0,791		
0,24	areia grossa a muito grossa lamosa	1439,612	1,567	1,726	2499,548	0,686	1,438	0,791		

	T6A											
Profundidade (m)	Descrição Geológica	Vp media	Densidade média	Susceptibilidade média	Impedancia média	Porosidade media	Su media	Ensaio de Carga media				
0,04	lama muito fluida	1452,6403	1,380	2,557	1997,739	0,797	0,09	0,25				
0,06	lama muito fluida	1452,6403	1,380	2,557	1997,739	0,797	0,09	0,25				
0,08	lama muito fluida	1452,6403	1,380	2,557	1997,739	0,797	0,09	0,25				
0,1	lama muito fluida	1452,6403	1,380	2,557	1997,739	0,797	0,09	0,25				
0,12	conchas	1475,081	1,238	1,559	1825,005	0,877	0,10	0,34				
0,14	conchas	1475,081	1,238	1,559	1825,005	0,877	0,10	0,34				
0,16	conchas	1475,081	1,238	1,559	1825,005	0,877	0,10	0,34				
0,18	conchas	1475,081	1,238	1,559	1825,005	0,877	0,10	0,34				
0,2	lama fluida	1455,6844	1,726	4,272	2223,832	0,702	0,30	0,42				
0,22	lama fluida	1455,6844	1,421	4,272	2223,832	0,702	0,30	0,42				
0,24	lama fluida	1455,6844	1,421	4,272	2223,832	0,702	0,30	0,42				
0,26	lama fluida	1455,6844	1,421	4,272	2223,832	0,702	0,30	0,42				
0,28	lama fluida	1455,6844	1,421	4,272	2223,832	0,702	0,30	0,42				
0,3	lama fluida	1455,6844	1,421	4,272	2223,832	0,702	0,30	0,42				
0,32	lama fluida	1455,6844	1,421	4,272	2223,832	0,702	0,30	0,42				
0,34	lama fluida	1455,6844	1,421	4,272	2223,832	0,702	0,30	0,42				
0,36	lama fluida	1455,6844	1,421	4,272	2223,832	0,702	0,30	0,42				
0,38	lama compacta	1479,8221	1,556	4,166	2267,004	0,710	0,91	2,00				
0,4	lama compacta	1479,8221	1,556	4,166	2267,004	0,710	0,91	2,00				
0,42	lama compacta	1479,8221	1,556	4,166	2267,004	0,710	0,91	2,00				
0,44	lama compacta	1479,8221	1,556	4,166	2267,004	0,710	0,91	2,00				
0,46	lama compacta	1479,8221	1,556	4,166	2267,004	0,710	0,91	2,00				

				T7A				
Profundidade (m)	Descrição Geológica	Vp média	Densidade média	Susceptibilidade média	Impedancia média	Porosidade media	Su media	Ensaio de Carga media
0,04	lama arenosa média	1546,4518	1,677	3,362	2591,575	0,624	0,767	0,317
0,06	lama arenosa média	1546,4518	1,677	3,362	2591,575	0,624	0,767	0,317
0,08	lama arenosa média	1546,4518	1,677	3,362	2591,575	0,624	0,767	0,317
0,10	lama arenosa média	1546,4518	1,677	3,362	2591,575	0,624	0,767	0,317
0,12	lama arenosa média	1546,4518	1,677	3,362	2591,575	0,624	0,767	0,317
0,14	lama arenosa média	1546,4518	1,677	3,362	2591,575	0,624	0,767	0,317
0,16	lama arenosa media a grossa	1547,7558	1,660	3,294	2608,035	0,618	0,663	1,625
0,18	lama arenosa media a grossa	1547,7558	1,660	3,294	2608,035	0,618	0,663	1,625
0,20	lama arenosa media a grossa	1547,7558	1,660	3,294	2608,035	0,618	0,663	1,625
0,22	lama arenosa media a grossa	1547,7558	1,660	3,294	2608,035	0,618	0,663	1,625
0,24	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,26	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,28	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,30	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,32	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,34	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,36	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,38	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,40	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,42	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,44	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,46	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,48	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123
0,50	lama fluida	1540,6238	1,708	6,526	2629,340	0,605	0,704	1,123

				T8A				
Profundidade (m)	Descrição Geológica	Vp media	Densidade média	Susceptibilidade média	Impedancia média	Porosidade media	Su media	Ensaio de Carga media
0,02	lama muito fluida	1533,461	1,464	4,884	2245,116	0,746	0,29	0,20
0,04	lama muito fluida	1533,461	1,464	4,884	2245,116	0,746	0,29	0,20
0,06	lama fluida	1509,208667	1,589	4,682	2397,557	0,674	0,41	0,25
0,08	lama fluida	1509,208667	1,589	4,682	2397,557	0,674	0,41	0,25
0,10	lama fluida	1509,208667	1,589	4,682	2397,557	0,674	0,41	0,25
0,12	lama arenosa fina	1501,951	1,604	4,200	2409,819	0,665	0,49	0,35
0,14	lama arenosa fina	1501,951	1,604	4,200	2409,819	0,665	0,49	0,35
0,16	lama arenosa fina	1501,951	1,604	4,200	2409,819	0,665	0,49	0,35
0,18	lama arenosa fina	1501,951	1,604	4,200	2409,819	0,665	0,49	0,35
0,20	lama arenosa fina	1501,951	1,604	4,200	2409,819	0,665	0,49	0,35
0,22	lama arenosa fina	1501,951	1,604	4,200	2409,819	0,665	0,49	0,35
0,24	lama arenosa fina	1501,951	1,604	4,200	2409,819	0,665	0,49	0,35
0,26	lama arenosa fina a media	1497,7988	1,634	2,801	2447,705	0,647	0,69	0,54
0,28	lama arenosa fina a media	1497,7988	1,634	2,801	2447,705	0,647	0,69	0,54
0,30	lama arenosa fina a media	1497,7988	1,634	2,801	2447,705	0,647	0,69	0,54
0,32	lama arenosa fina a media	1497,7988	1,634	2,801	2447,705	0,647	0,69	0,54
0,34	lama arenosa fina a media	1497,7988	1,634	2,801	2447,705	0,647	0,69	0,54
0,36	lama arenosa média	1541,0603	1,613	2,442	2520,913	0,660	0,53	0,46
0,38	lama arenosa média	1541,0603	1,613	2,442	2520,913	0,660	0,53	0,46
0,40	lama arenosa média	1541,0603	1,613	2,442	2520,913	0,660	0,53	0,46
0,42	lama arenosa média	1541,0603	1,613	2,442	2520,913	0,660	0,53	0,46
0,44	lama arenosa média	1541,0603	1,613	2,442	2520,913	0,660	0,53	0,46