

## 4 Metodologia

### 4.1. Caracterização das ondas sonoras

A etapa inicial empregada envolveu a confecção de réplicas (Figura 2, Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 8 e Figura 9), confeccionadas no Audacity, de diferentes formas de ondas, para os resultados das reproduções desenvolvidas por Lee (2008).

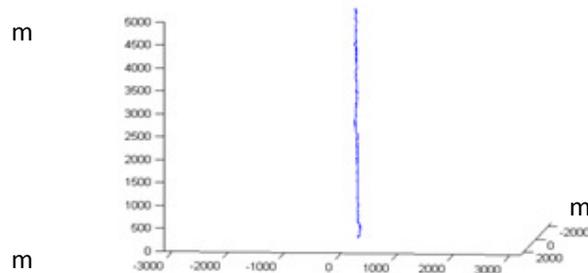


Figura 1: Imagem de um clap modelado por Sag Woo Lee em 2008, com 1660 segmentos de 3m

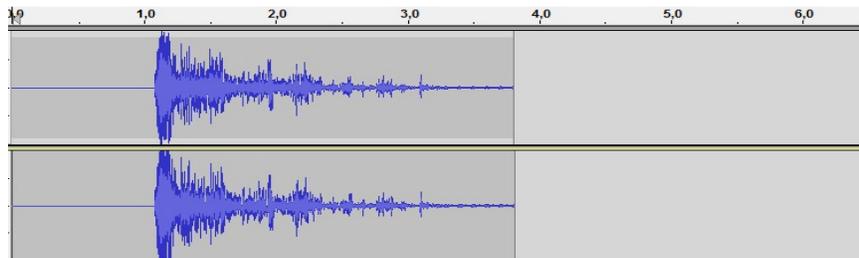


Figura 2: Forma de onda replicada utilizando o software Audacity, da onda obtida através da modelagem do clap (situada a 500m ao norte do ponto de observação do raio) desenvolvida por Lee (2008), com 1660 segmentos de 3m

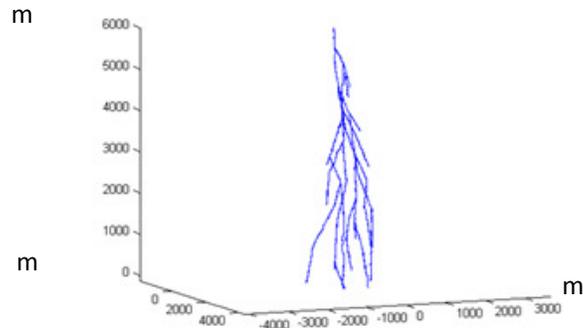


Figura 3: Rumble com várias estruturas de raios, modelado por Lee (2008), aos quais foram utilizados 7435 segmentos de 5m

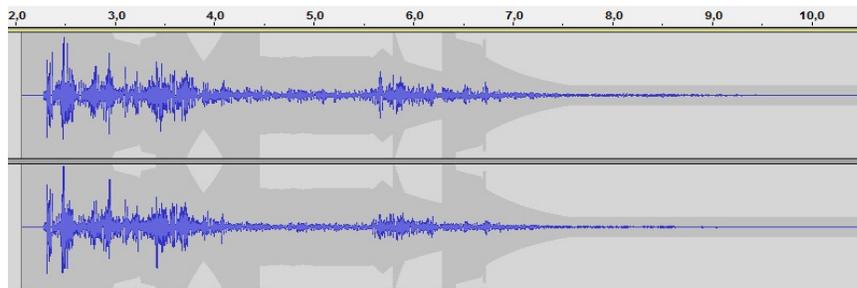


Figura 4: Forma de onda replicada utilizando o software Audacity, da onda obtida através da modelagem do clap (situada a 500m ao norte do ponto de observação do raio) desenvolvida por Lee (2008), com 7435 segmentos de 5m

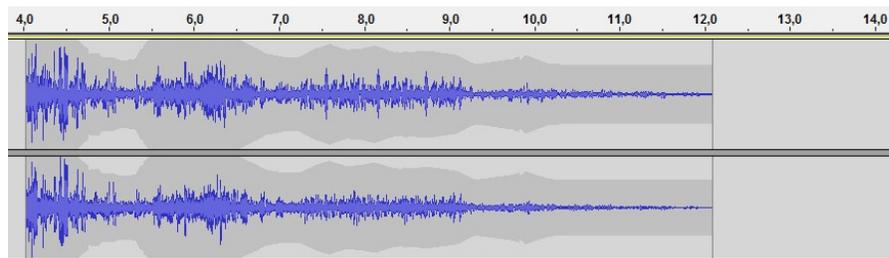


Figura 5: Forma de onda replicada utilizando o software Audacity, da onda obtida através da modelagem do rumble (situada a 1000m ao leste do ponto de observação do raio) desenvolvida por Lee (2008), com 7435 segmentos de 5m

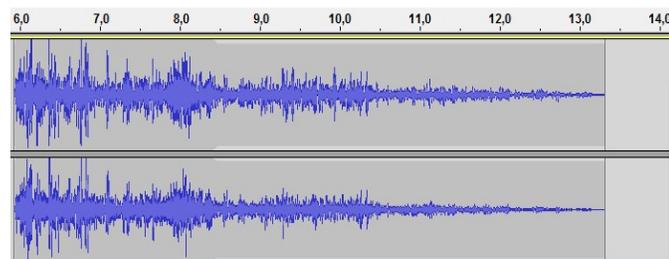


Figura 6: Forma de onda replicada utilizando o software Audacity, da onda obtida através da modelagem do rumble (situada a 2000m ao leste do ponto de observação do raio) desenvolvida por Lee (2008), com 7435 segmentos de 5m

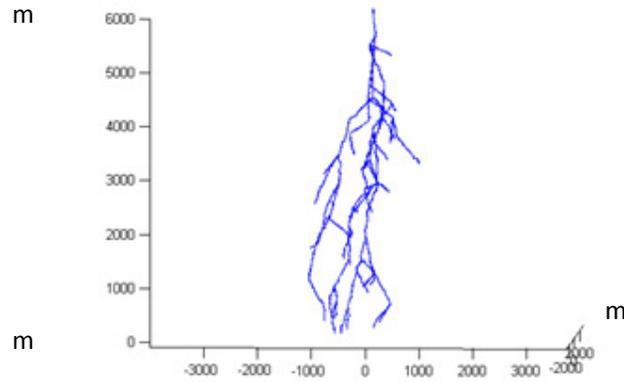


Figura 7: Rumble com várias estruturas de raios, modelado por Lee (2008), aos quais foram utilizados 8472 segmentos de 5m

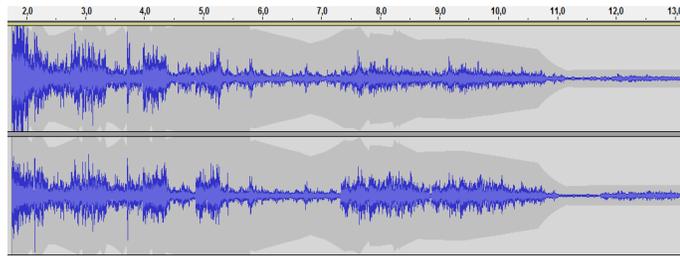


Figura 8: Forma de onda replicada utilizando o software Audacity, da onda obtida através da modelagem do rumble (situada a 500m ao leste do ponto de observação do raio) desenvolvida por Lee (2008), com 8472 segmentos de 5m

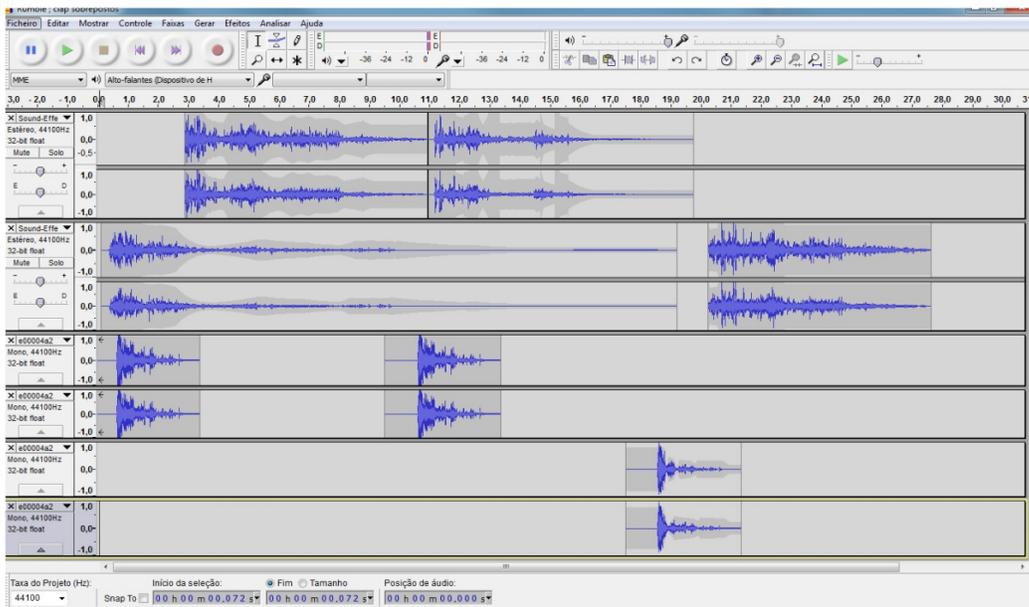


Figura 9: Formas de ondas replicadas, sobrepostas, utilizando o software Audacity

## 4.2. Caracterização geográfica

Os solos utilizados nos ensaios foram amostrados das áreas, dispostas na Figura 10 e na Figura 11) situadas na PUC-Rio (coordenadas 22° 58' 50.13" sul e 43° 13' 58.82" oeste) e no condomínio situado na rodovia RJ 130, km 492, no bairro Conquista, Município de Nova Friburgo (coordenadas 22° 14' 10.01" sul e 42° 38' 33.32" oeste).

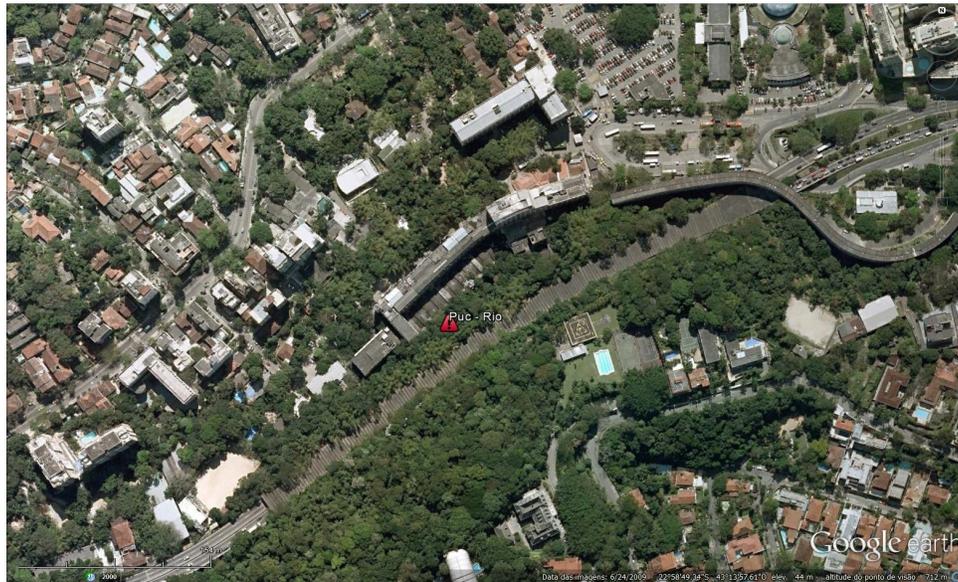


Figura 10: Imagem de satélite, proveniente do Google Earth, da área situada na PUC-Rio



Figura 11: Imagem de satélite, proveniente do Google Earth, da área situada no Condomínio de Conquista - Nova Friburgo

A área à qual os limites da PUC-Rio se encontram, esta situada no município do Rio de Janeiro, que por sua vez é essencialmente constituído por rochas gnáissicas e graníticas, que datam do período pré-cambriano, pertencentes sítio da Serra do Mar. O material proveniente da área pode ser classificado como granada-biotitaplagioclásio gnaiss constituído por quartzo, feldspato e biotita, além de muscovita e granada como minerais acessórios (Sertã, 1986). O recorte espacial esta inserido no maciço da Tijuca e se caracteriza por biotita-plagioclásio gnaiss, microlina gnaiss, leptinito/granito e granodiorito, datando do período Proterozóico Inferior (Brito, 1981).

O solo utilizado é um solo coluvionar maduro argilo-arenoso (Moreira, 1998), de origem possivelmente associada a processos erosivos ocorridos previamente. Sua tonalidade é vermelha amarelada, possui um aspecto pouco homogêneo, textura microgranular e constitui-se basicamente por argilominerais (caulinita principalmente), quartzo e óxidos de ferro e alumínio, como produtos do intemperismo dos minerais primários do biotita gnaiss (Soares, 2005). Como a atividade do solo depende dos argilominerais que o compõem e a caulinita é o predominante, espera-se que sua atividade seja baixa.

Do ponto de vista pedológico, pode ser classificado como um latossolo (Benevelli, 2002), ou seja, um solo bastante lixiviado. A fração argila deste horizonte apresenta na maioria dos casos permeabilidade baixa a moderada, expansividade nula a moderada, compressibilidade baixa e erodibilidade moderada a alta (De Mello, 1998).

No que toca a classificação climática, o recorte espacial esta inserido em uma zona Megatérmica, sob a variedade de clima úmido (De Mello, 1998). Segundo Brito (1981), no mês mais frio, a temperatura mínima é de 18°C. No mês mais seco a precipitação mínima é de 60 mm. O excesso hídrico (diferença entre precipitação e evapotranspiração) é de 617 mm durante o ano todo.

Diferentemente da caracterização efetuada para a área ocupada pela PUC-Rio, geograficamente, a Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro está inserida em um recorte espacial bastante diferenciado. Situada principalmente na Região das Escarpas e Reversos da Serra do Mar, na unidade geomorfológica localmente conhecida como Serra dos Órgãos (BRASIL, R. 1983). A área compreende principalmente rochas do Complexo Cristalino, com predominância de granitos, gnaisses e migmatitos, datados da Era Pré-Cambriana-Eopaleozóica (Hartwig, 2010 apud DRM. 2011) aos quais se

encontram seccionados por fraturas e falhas de extensão regional (Guerra, 2007a).

No âmbito climático, esta Região é considerada uma área de ocorrência de frentes e/ou linhas de instabilidade, que por meio do efeito da ascendência orográfica, o movimento convectivo é amplificado, causando neblina e quedas bruscas de temperatura no inverno, assim como fortes chuvas e trovoadas no verão (Guerra, 2007b).

Analisando a geologia e a topografia do relevo da área de estudo, marcado pelas grandes declividades e vertentes íngremes, aliadas às condições de contorno climático-meteorológicas, assim como dados geológicos, geomorfológicos e geotécnicos, na presença de uma fina cobertura de solo sobrejacente ao topo rochoso, a Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro mostra uma elevada vocação para a ocorrência de eventos relacionados aos movimentos de massa.

No que tange a pedologia local, segundo Silva et al., (2010), “*Existe uma correlação entre relevo e as classes de solos. O Latossolo VermelhoAmarelo, ocorre na alta e média encosta; o Argissolo Vermelho-Amarelo, no terço inferior de vertentes em colinas suavizadas; o Cambissolo, em trechos mais elevados, em relevo ondulado a montanhoso; o Neossolo Litólico, nas áreas mais íngremes, próximas a afloramentos de rocha e sopé de paredões rochosos, em áreas de depósito de tálus; e Neossolo Flúvico, restrito aos terraços ao longo dos principais cursos d’água*”.

A água por sua vez, possui grande relevância na ocorrência dos deslizamentos de terra. Com a percolação e infiltração, aumenta-se a poropressão, reduzindo a tensão efetiva e, por consequência os parâmetros de resistência do solo, podendo ocasionar movimentos de massa. Contudo, não somente as fortes chuvas associadas às características abordadas anteriormente foram marcantes na conjuntura dos deslizamentos de janeiro de 2011. Relatos de moradores da região ressaltam a ocorrência de trovões de grandes intensidades, que fizeram as suas janelas trepidarem em diversos momentos.

#### **4.3.Caracterização física**

Sabendo da grande complexidade da natureza, que ressalta a variabilidade de características de um ponto da superfície e/ou subsuperfície em relação aos outros,

foram efetuadas a determinação dos limites, as curvas granulométricas e as curvas características de retenção de umidade dos solos ensaiados.

#### 4.3.1. Índices físicos

Para a determinação das propriedades-índices básicas das amostras de solo estudadas, foram realizados ensaios de caracterização física. A caracterização foi feita no Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio, utilizando amostras deformadas e indeformadas, e os procedimentos seguem as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), citadas a seguir:

- NBR 6457/1986 – Amostra de Solos;
- NBR 6457/1986 – Teor de Umidade Natural;
- NBR 6508/1984 – Massa Específica Real dos Grãos;
- NBR 6459/1984 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez;
- NBR 7180/1988 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade;
- NBR 7181/1988 – Solo – Análise Granulométrica.

A caracterização permitiu a determinação de propriedades e índices, como:

- Peso específico real dos grãos,  $\gamma_s = \rho_s \cdot g$ , sendo  $\rho_s$  a massa específica dos grãos e  $g$  a aceleração da gravidade ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ );
- Peso específico natural,  $\gamma_{nat} = \rho_{nat} \cdot g$ . Onde  $\rho_{nat}$  é a massa específica natural;
- Peso específico seco,  $\gamma_d = \gamma_{nat}/(1 + w_{nat})$ , sendo  $w_{nat}$  a umidade natural do solo;
- Índice de vazios ( $e$ ), obtido pela correlação de índices  $e = \gamma_s/\gamma_d - 1$ ;
- Porosidade ( $n$ , %), também obtida por correlação de índices, sendo  $n = e/(1 + e)$ ;
- Grau de saturação ( $S$ , %), por fórmula de correlação,  $S = \rho_s \cdot w_{nat}/e \cdot \rho_w$ ; sendo  $\rho_w$  a massa específica da água a 4° C ( $\rho_w = 1 \text{ Mg/m}^3$ ).

Os valores médios obtidos para os índices físicos estão apresentados na Tabela 4. Para o cálculo dos valores, foram utilizadas amostras retiradas em campo à qual se buscou manter as características inerentes à sua estrutura e à sua umidade, provenientes do seu local de origem.

Tabela 1: Índices físicos dos materiais ensaiados

Valores médios	Colúvio - PUC-Rio	SRM - Nova Friburgo
$G_s$	2,778	2,64
$\rho_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	16,8	11,7
e	1,528	1,257
n	0,43	0,529
S (%)	0,734	50,1

#### 4.3.2. Curva granulométrica

A análise das granulometrias subsidiou a obtenção da porcentagem das frações de solo para cada um dos materiais estudados, conforme observa-se na Tabela 2

Tabela 2: Resumo da Granulometria dos dois tipos de solo (valores em %)

Resumo da Granulometria (%)	Solo PUC-Rio	Solo - Nova Friburgo
Pedregulho Grosso	0	0
Pedregulho Médio	1,70	0,81
Pedregulho Fino	4,66	3,47
Areia Grossa	13,53	22,73
Areia Média	11,58	16,66
Areia Fina	12,27	10,83
Silte	8,79	16,04
Argila	47,46	29,45

Nos resultados expressos nas curvas granulométricas dispostas na Figura 12 e na Figura 13, ressalta-se a presença de elevadas frações de areia para ambos os materiais. Como destaque destaca-se os 29,45% de argila e 50,22% de areias caracterizados no material proveniente de Nova Friburgo, assim como 47,46% de argila no interior do bloco proveniente do material da encosta situada na PUC-Rio.

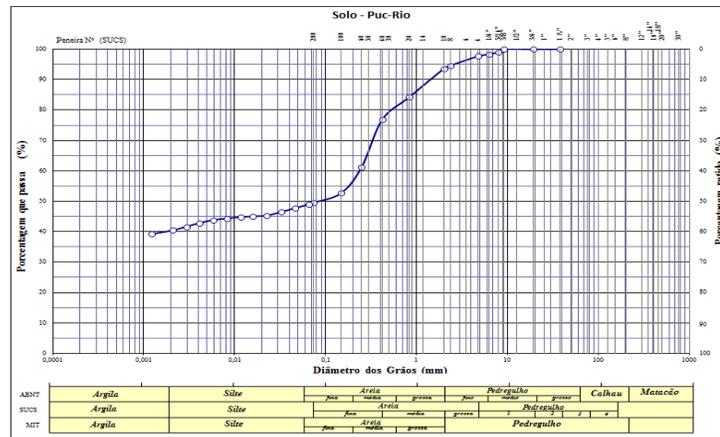


Figura 12: Curva granulométrica do solo proveniente da PUC-Rio

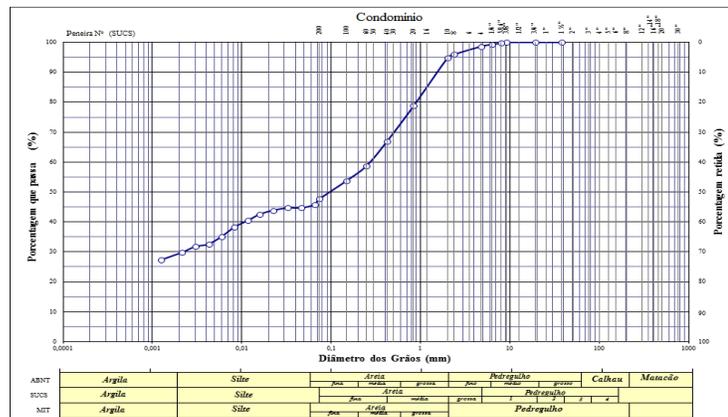


Figura 13: Curva granulométrica do solo situado no condomínio de Conquista – Nova Friburgo

#### 4.3.3. Limite de Atterberg

Os limites de consistência ou simplesmente limites de Atterberg tocam a obtenção dos limites de liquidez (LL%) e de plasticidade (LP%). Os resultados adquiridos a partir desses limites permitiu-se calcular o índice de plasticidade (IP, %) e o índice de atividade das argilas (Ia) segundo o proposto por Skempton, na Equação xvi,

$$Ia = \frac{IP}{\% < 2\mu\text{m}}$$

xvi

onde: % < 2μm é a porcentagem da fração de argila, dispostos respectivamente na Tabela 3.

Tabela 3: Limites de consistência e atividade das argilas

Valores médios	Colúvio - PUC-Rio	SRM - Nova Friburgo
LL (%)	45,6	42,3
LP (%)	36,9	30,7
IP (%)	8,7	11,6
Atividade	0,18	0,39

De acordo com o índice de atividade obtido, classifica-se o solo da seguinte forma:

- \*  $I_a < 0,75$  = inativa;
- \*  $1,25 > I_a > 0,75$  = atividade normal;
- \*  $I_a > 1,25$  = ativa.

Deste modo, analisando os resultados do  $I_a$  obtidos pela equação de Skempton, a fração de argila dos solos são inativas.

#### 4.3.4. Classificação do solo - SUCS

Partindo da classificação física, podem-se classificar os solos estudados. A classificação usada no presente trabalho tange o sistema unificado de classificação de solo (SUCS). Deste modo, as amostras dos solos podem ser classificadas como:

- Solo oriundo da PUC-Rio – Argila – arenosa (CL).
- Solo do condomínio situado no distrito de Conquista – Nova Friburgo RJ – Areia – argilosa (SC).

#### 4.3.5. Curva característica

Fisicamente a curva característica de retenção de umidade é a maneira de correlacionar o teor de umidade ( $w$ ) e a sucção nos vazios do solo e/ou também relacionando a umidade volumétrica ( $\theta$ ) com a sucção.

Para a presente dissertação, os anéis foram moldados em campo (Figura 14 e Figura 15) e a curva característica foi desenvolvida a partir do ponto com a umidade natural. Deste modo, dois ramos foram trabalhados de formas distintas. O ramo seco necessitou de diferentes reduções dos teores de umidade dos solos contidos nos anéis, enquanto o ramo úmido careceu da introdução de diferentes volumes de água no interior dos anéis.



Figura 14: Moldagem em campo, dos anéis da curva característica, do solo proveniente da PUC-Rio



Figura 15: Moldagem em campo, dos anéis da curva característica, do solo proveniente do condomínio situado no bairro Prainha, no município de Nova Friburgo

A medição da sucção foi efetuada através do método do papel filtro, detalhada por Marinho, (1994). O papel filtro utilizado foi o modelo Whatman N°42, garantindo que as leituras fossem efetuadas logo após o equilíbrio, evitando significativas perdas de umidade.

Como resultados, as curvas características (Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20) apresentaram um comportamento bimodal, com um patamar intermediário bem definido entre a macro e a microestrutura, ressaltando as VEAs, onde ocorre a dessaturação dos macro poros e micro poros (Figura 76).

As curvas foram de extrema relevância, pois nos permitiram constatar graus de saturação de até 75% nas etapas 2, dos solos livres do confinamento.

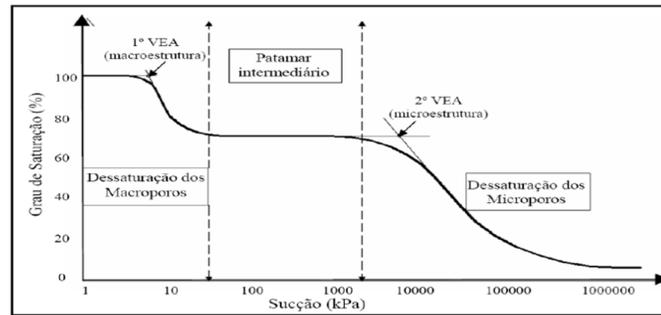


Figura 16: Comportamento bimodal (Feuerharmel *et al.*, 2005)

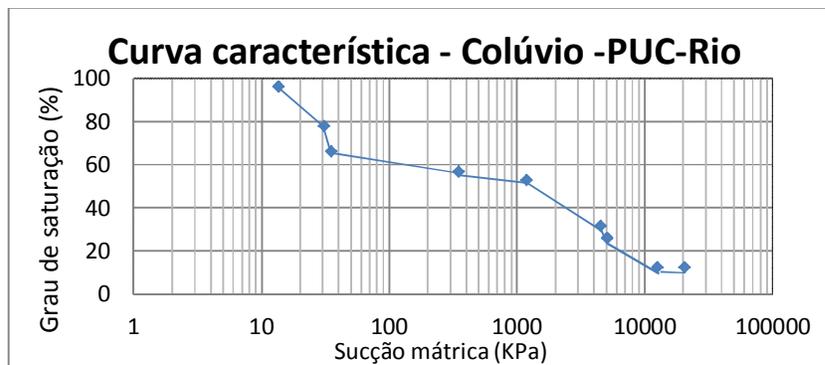


Figura 17: Curva caraterística do colúvio situado na PUC-Rio. Relação entre o grau de saturação e a sucção mátrica

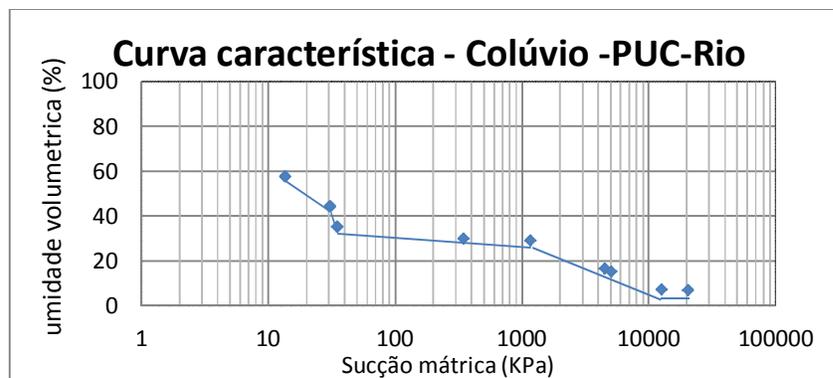


Figura 18: Curva caraterística do colúvio situado na PUC-Rio. Relação entre a umidade volumétrica e a sucção mátrica

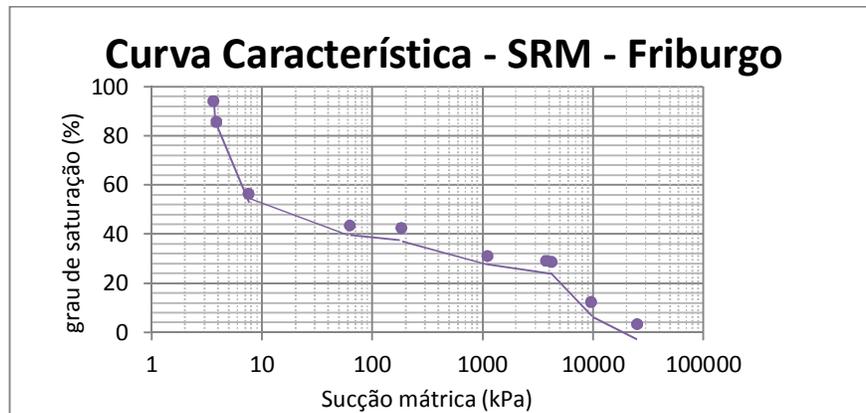


Figura 19: Curva caraterística do Solo Residual Maduro situado no condomínio do bairro Prainha – Nova Friburgo. Relação entre o grau de saturação e a sucção mátrica.

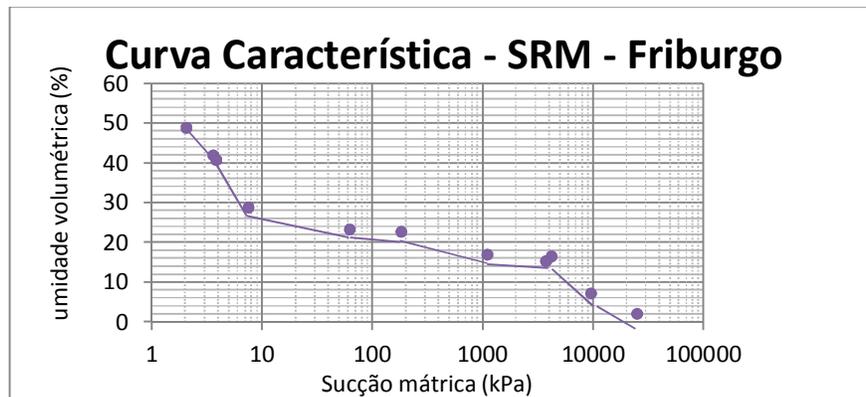


Figura 20: Curva caraterística do Solo Residual Maduro situado no condomínio do bairro Prainha – Nova Friburgo. Relação entre umidade volumétrica e a sucção mátrica.

#### 4.4. Testes - tensiômetros

Os testes com os tensiômetros foram efetuados em duas etapas diferentes.

Em um primeiro momento, foram aplicadas as ondas sonoras nos sensores cobertos apenas com a cápsula de proteção preenchida com água deaerada.

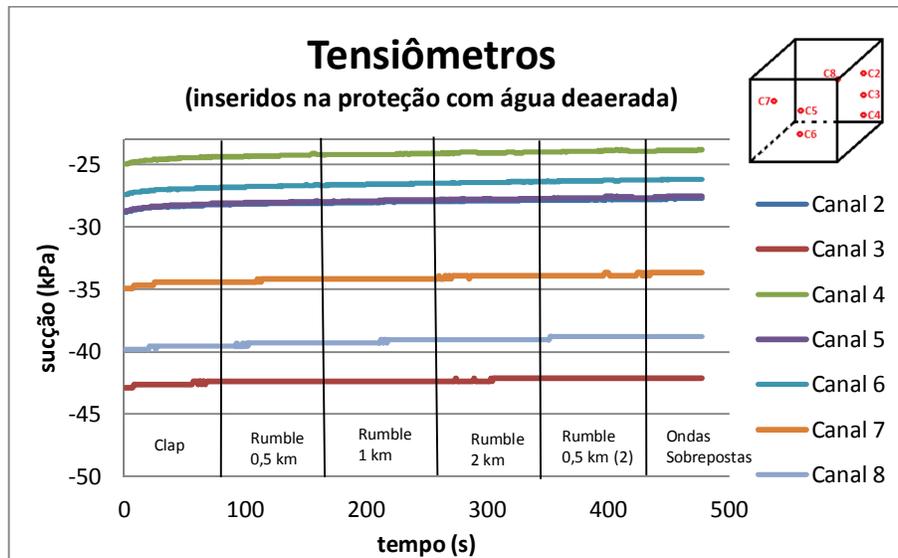


Figura 21: Resultados dos testes efetuados nos tensiômetros inseridos na proteção preenchida com água deaerada e succionada

A mesma metodologia foi empregada nos tensiômetros livres ao ar e em contato com um pequeno filete d'água. Assim como os resultados expressos no teste com os sensores inseridos em água deaerada, o gráfico não ressalta variações na sucção nos momentos de emissão das ondas sonoras.

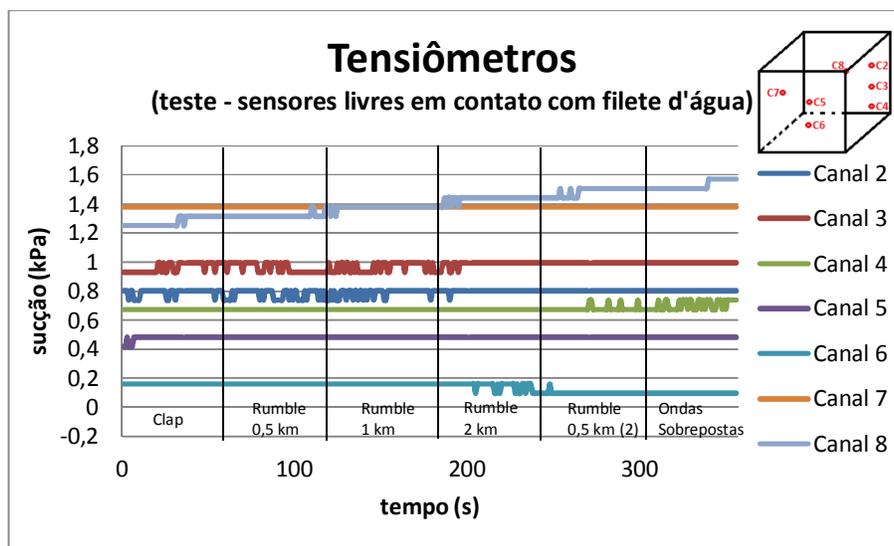


Figura 22: Resultados dos testes efetuados nos tensiômetros em contato apenas com o filete d'água

Cabe ressaltar a grande impossibilidade que o instrumento possui para a aferição de valores de sucção para solos secos. Ao tentar aproximar o sensor do seu funcionamento limite, se faz necessário o constante refilamento ou ressaturação do conjunto, emanando uma grande quantidade de tempo do operador.

#### 4.5.TDR's – calibração

Na calibração foi usado um cilindro de PVC com um tampo removível e o compactador Proctor normal. A metodologia empregada obteve resultados provenientes da variação de umidade, do número de golpes, e da variação de volume do cilindro (Figura 23).



Figura 23: Detalhe dos materiais empregados para a execução da calibração dos TDR's

A calibração dos TDR's (Figura 24 até a Figura 29) foi executada para aumentar a precisão do equipamento assim como demonstrar que com o aumento do pd e conseqüentemente do contato solo-haste, ocorrerá um aumento dos valores de umidade obtidos.

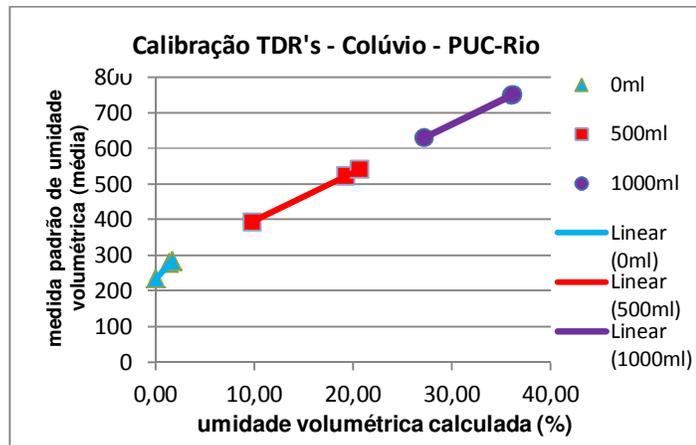


Figura 24: Relação entre a medida padrão de umidade volumétrica e a umidade volumétrica calculada para os diferentes teores de umidade do colúvio proveniente da PUC-Rio

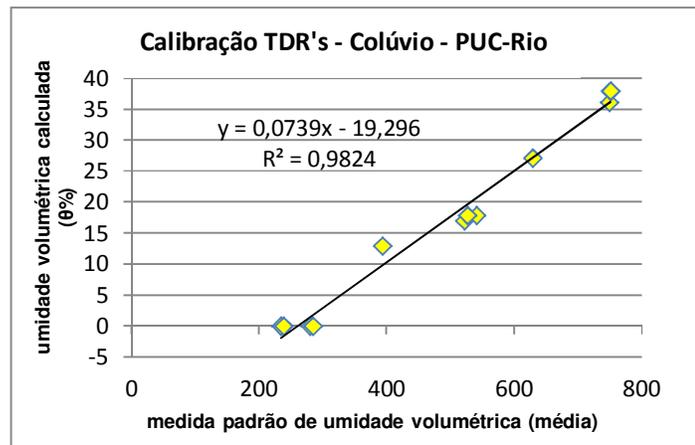


Figura 25: Equação de calibração dos TDR's para o solo coluvionar da PUC-Rio

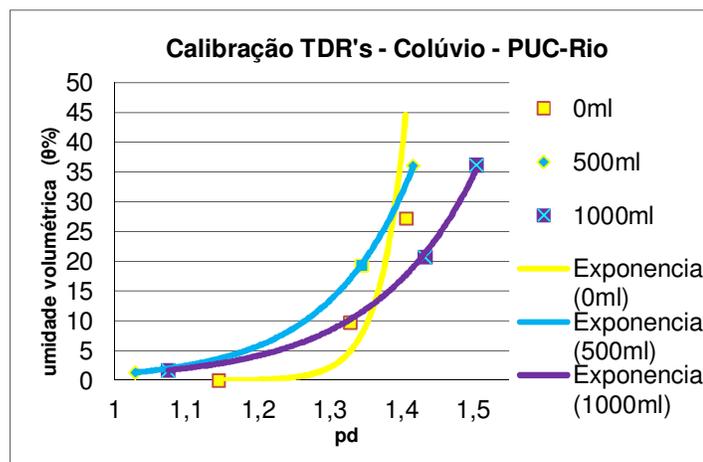


Figura 26: Relação entre a umidade volumétrica e o pd do colúvio proveniente da PUC-Rio

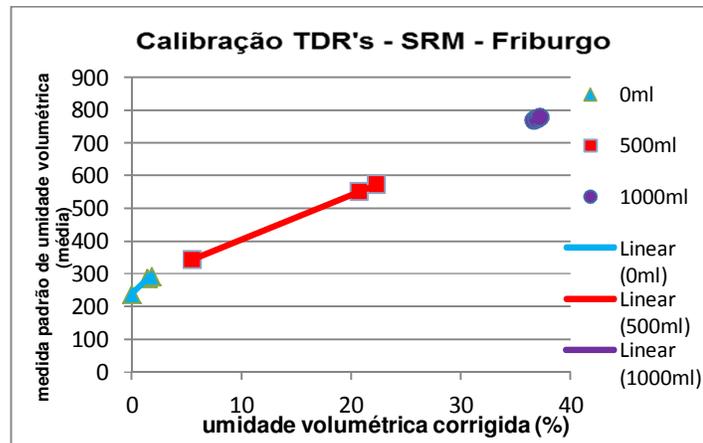


Figura 27: Relação entre a medida padrão de umidade volumétrica e a úmida volumétrica calculada para os diferentes teores de umidade do solo residual maduro, proveniente do condomínio situado em Conquista – Nova Friburgo

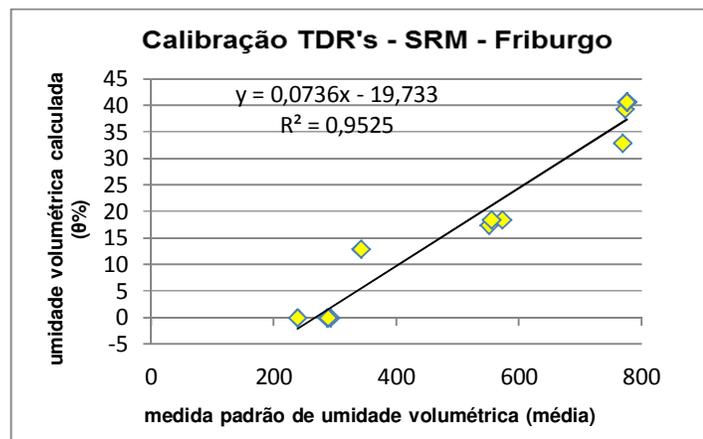


Figura 28: Equação de calibração dos TDR's para o solo residual maduro, proveniente do condomínio situado em Conquista – Nova Friburgo

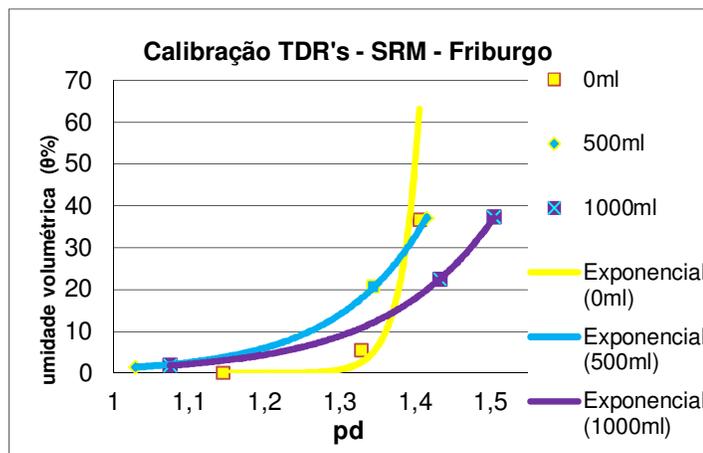


Figura 29: Relação entre a umidade volumétrica e o pd do condomínio situado em Conquista – Nova Friburgo

Além da obtenção de valores mais precisos de umidade volumétrica, a calibração verificou a qualidade das leituras obtidas pelos sensores, utilizando a técnica de inserção das hastes com o gabarito feito pela furadeira de baixa rotação (Figura 30).

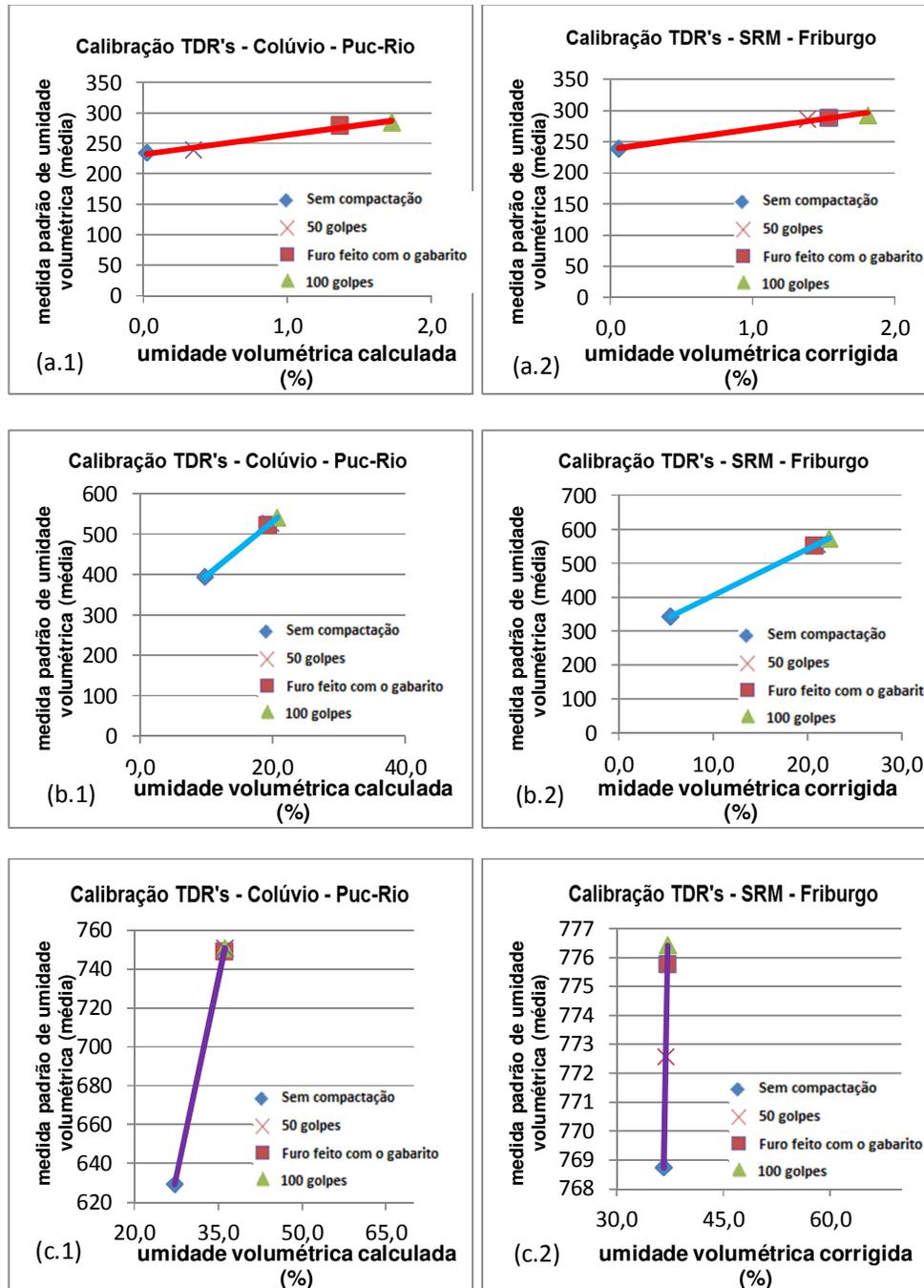


Figura 30: Relação entre as diferentes compactações e as quantidades de água adicionadas (a.1, a.2 – 0ml), (b.1, b.2 – 500ml) e (c.1, c.2 – 1000ml)

Após a análise dos resultados, observa-se que a metodologia empregada para a inserção das hastes é considerada pertinente, pois embora o valor medido seja menor do que o aferido no conjunto submetido aos 100 golpes de compactação, esses valores estão bem próximos.

#### 4.6. Testes – acelerômetros

Os acelerômetros foram testados com as hastes inseridas no solo (nos sentidos x, y e z) e com o corpo preso à caixa de som.

De acordo com a Figura 31, ressalta-se que, tanto para o clap, quanto para as ondas sobrepostas, a resposta indica valores maiores de aceleração no sensor conectado à fonte emissora (canal com o resultado disposto na cor amarela), enquanto o resultado dos acelerômetros que estavam com as hastes inseridas no solo apresentaram resultados de menores magnitudes.

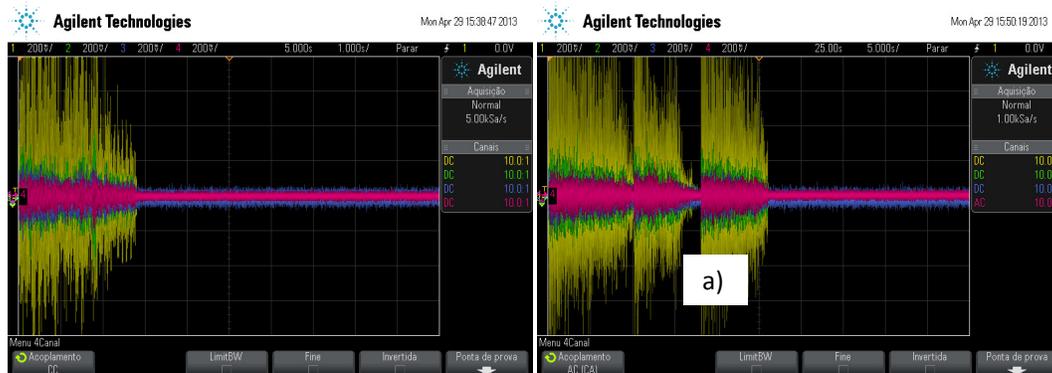


Figura 31: Resultados dos testes efetuados nos acelerômetros, a partir da emissão do clap (a) e das ondas sobrepostas (b)

#### 4.7. Preparação e execução dos ensaios

Os blocos foram moldados em campo (Figura 32 e Figura 33) e submetidos aos períodos de vibração, proporcionados pelas ondas de choque, similares às ondas oriundas de trovões.



Figura 32: Retirada dos blocos do solo proveniente da PUC-Rio para execução dos ensaios

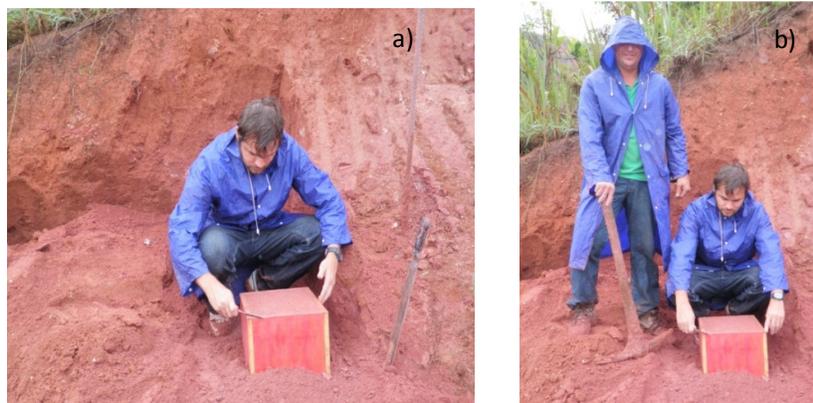


Figura 33: Retirada dos blocos do solo proveniente do condomínio situado no bairro Prainha – Nova Friburgo

Para a execução dos ensaios, os blocos confinados foram secos ao ar durante o período de 2 semanas. Com o auxílio de uma furadeira em baixa rotação e com brocas com o diâmetro exato das hastes e dos corpos dos sensores (Figura 34), foram confeccionados os furos para a introdução dos mesmos.

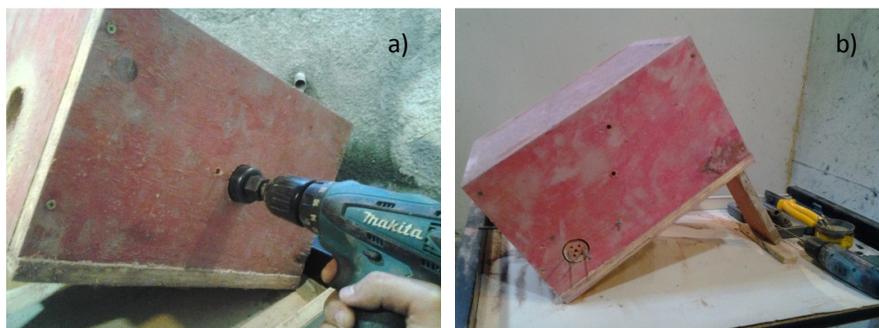


Figura 34: Execução dos furos com furadeira em baixa rotação (a) e disposição dos furos na lateral da amostra confinada (b)

Após a execução dos furos e a certificação da profundidade dos mesmos (Figura 35), os sensores foram inseridos com cautela no bloco de solo, para a imediata execução dos ensaios.

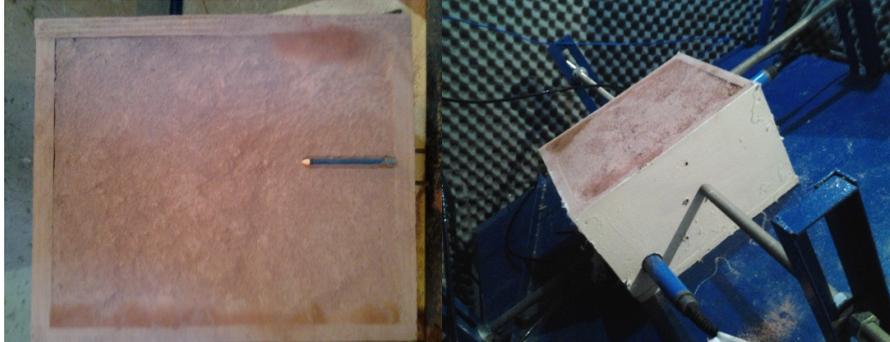


Figura 35: Extensão da haste e introdução dos TDR'S

Neste momento foi executada a emissão de ondas para a etapa 1, na amostra confinada (Figura 36).



Figura 36: Disposição final dos sensores prontos para a execução dos ensaios

Após a primeira etapa, com o ensaio executado no solo praticamente seco, iniciou-se o processo de saturação através do emprego do Frasco de Mariotte e do uso de umedecimento direto. Com a indicação de uma baixa sucção nos tensiômetros e do aumento da umidade volumétrica nos TDR's, aproximando o material ensaiado da saturação, uma nova emissão de ondas foi feita e foi considerada a etapa 2 do ensaio.

Para a execução dos ensaios nos blocos livres de confinamento, o material foi mantido embalado, preservando as características da sua umidade natural do campo, até

o momento do ensaio (Figura 37). Após a execução da etapa 1 (na umidade natural), foi introduzida água no sistema, em busca da saturação do mesmo, permitindo a execução da etapa 2.

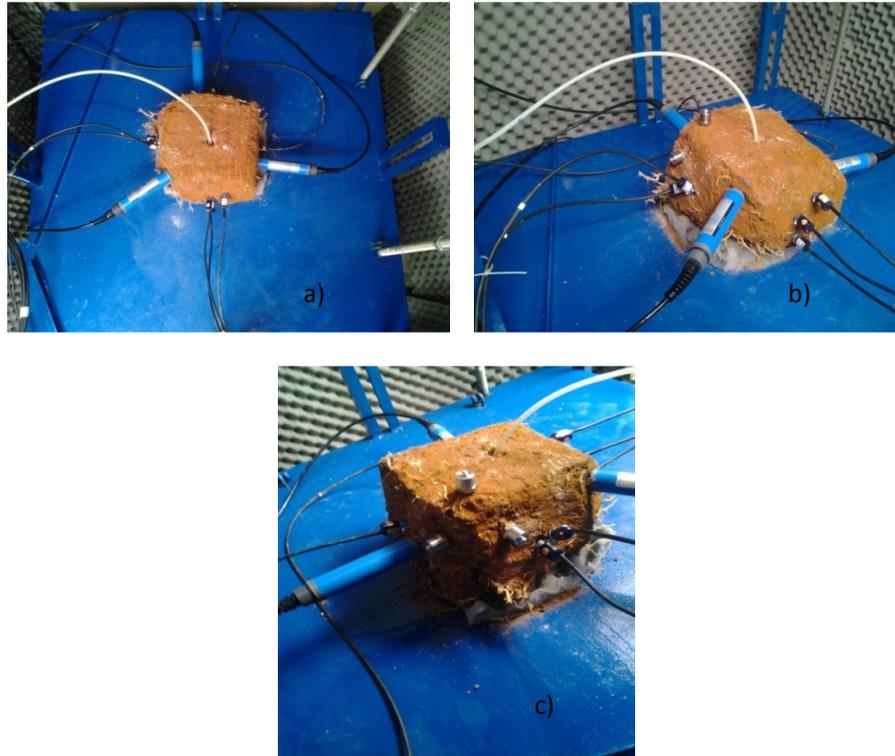


Figura 37: Exemplo da disposição dos instrumentos em um bloco livre de confinamento

Na medida em que as emissões das ondas sonoras executadas, através do centro de controle (Figura 38), foram obtidas leituras dos tensiômetros, TDR's e acelerômetros, dispostos na Figura 38, Figura 39 e Figura 40.



Figura 38: Centro de controle. Disposição dos equipamentos de aquisição de dados

Para os TDR's, a leitura dos sensores resultou em uma tabela (Figura 39), que possuíam em sua interface detalhes do número da leitura efetuada, hora, data, assim como parâmetros necessários para avaliar a constante dielétrica do material (como o tempo de percurso entre as hastes) e a umidade volumétrica do mesmo.

No.	Time	Date	Count	ASICCount	ASICTemp	t	tp	StdMat	MatMat	Moist	TDRLevel	MatTemp	RbC
1	14:45:05	19-12-2012	1408.311	1408.311	56.43	2365.916	601.987	601.9...	39.425	39.420	77.800	25.2	0.630
2	14:45:00	19-12-2012	1407.470	1407.470	55.94	2364.502	601.413	601.4...	39.335	39.330	77.700	25.2	0.650
3	14:44:56	19-12-2012	1406.742	1406.742	55.89	2363.279	600.916	600.9...	39.259	39.250	77.600	25.2	0.660
4	14:44:51	19-12-2012	1407.084	1407.084	55.40	2363.854	601.149	601.1...	39.295	39.290	77.600	25.1	0.660
5	14:44:47	19-12-2012	1404.962	1404.962	54.91	2360.289	599.701	599.7...	39.074	39.070	77.400	25.0	0.690
6	14:44:42	19-12-2012	1405.835	1405.835	54.42	2361.756	600.297	600.2...	39.164	39.160	77.500	25.1	0.680

Figura 39: TDR – Leituras a cada 5/6 segundos a partir do WMS USB

Para os tensiômetros, a leitura era efetuada nos canais do logger, sendo necessária a configuração tempo de leitura do instrumento através das propriedades inseridas no código dos sensores. Os resultados são dispostos em colunas (Figura 40), que indicam o tempo e os valores de sucção (hPa) para cada canal.

[x]	Ch	Code	Label	Reading	Units
<input checked="" type="checkbox"/>	2	SWT	Chan02	outside...	hPa
<input checked="" type="checkbox"/>	3	SWT	Chan03	outside...	hPa
<input checked="" type="checkbox"/>	4	SWT	Chan04	outside...	hPa
<input checked="" type="checkbox"/>	5	SWT	Chan05	outside...	hPa
<input checked="" type="checkbox"/>	6	SWT	Chan06	outside...	hPa
<input checked="" type="checkbox"/>	7	SWT	Chan07	0.98000	hPa
<input checked="" type="checkbox"/>	8	SWT	Chan08	4.1900	hPa
<input checked="" type="checkbox"/>	64	W...	Chan64	1	

Read Continuously

Figura 40: Tensiômetros – Leituras a cada 1 segundo do logger a partir do Ecoutil

Por fim, para os acelerômetros foram efetuadas medidas em tempo real, através do uso do Osciloscópio, modelo MSO-X 2024A, descrito no item 3.12.