

4. Ensaio de Laboratório

Os parâmetros geotécnicos que controlam o processo de adensamento de um depósito de solos moles, sob carregamento de um aterro, são a permeabilidade e o coeficiente de variação volumétrica destes solos. Estes parâmetros se relacionam com as características dos solos, tais como a composição e a estrutura, e também com as características do depósito, tais como os estados e histórias de tensões. Estas características são decorrentes do ambiente de deposição dos solos e dos processos pós-deposicionais.

A determinação desses parâmetros e características pode ser feita a partir da realização de ensaios de laboratório, desde que, pelo menos, amostras *indeformadas* estejam disponíveis. Para desenvolvimento desta tese, amostras *indeformadas*, assim como deformadas, foram coletadas em diversas profundidades do depósito de solos muito moles da Barra de Tijuca em estudo (consultar capítulo 3) e estas amostras foram utilizadas na campanha de ensaios de laboratório. Não só pelo caráter científico deste trabalho, mas também pelo caráter variável dos solos do depósito, comum para o ambiente (marinho-flúvio-lagunar) de formação dos mesmos, todos os solos amostrados foram caracterizados. Esta campanha foi composta de ensaios de caracterização completa e de adensamento oedométrico (convencionais e especiais).

A partir da realização dos ensaios de caracterização completa, são estabelecidas as características físicas e de reconhecimento dos solos. Os solos das amostras deformadas e *indeformadas* foram utilizados nessa caracterização. Os métodos e procedimentos adotados, assim como as características estabelecidas para os solos, serão primeiramente apresentados neste capítulo.

Na sequência do capítulo, serão apresentados as técnicas de ensaios de adensamento e os procedimentos adotados para realização destes, que foram classificados como convencionais e especiais. Os resultados dos ensaios, que permitem se estabelecer as propriedades de adensamento dos solos, serão

apresentados posteriormente. Neste contexto, foi feita uma descrição minuciosa dos cuidados tomados com as amostras no laboratório; cuidados estes que garantem, ao menos em parte, a manutenção do estado *indeformado* das mesmas. Uma vez que é reconhecida a potencialidade da ocorrência de amolgamentos durante a etapa de preparação dos corpos de prova, as técnicas adotadas nesta etapa serão descritas detalhadamente. Corpos de prova intencionalmente amolgados também foram utilizados na campanha de ensaios e a técnica de preparação dos mesmos será também descrita detalhadamente. E, da mesma forma, foi feita uma descrição das técnicas e dos respectivos equipamentos empregados na realização dos ensaios.

No final do capítulo, será realizada a avaliação da qualidade dos corpos de prova. Esta avaliação se faz necessária devido aos fatos de não poder se garantir, apesar dos cuidados tomados durante as etapas de campo e laboratório, a obtenção de corpos de prova *isentos de amolamento* e de as determinações confiáveis das propriedades dos solos requererem necessariamente a obtenção de corpos de prova de boa qualidade.

É importante salientar que o termo “*indeformada*” ou “*isento de amolamento*” é adotado para descrever corpos de prova ou amostras que passaram pelo inevitável alívio de tensões inerente ao procedimento de amostragem e moldagem dos corpos de prova, mas não apresentam outros efeitos significativos de amolgamentos decorrentes dos procedimentos de amostragem, transporte, armazenagem e/ou moldagem dos corpos de prova.

A classificação dos solos, que é geralmente realizada com base nas características física e de reconhecimento do solo, e a interpretação dos resultados dos ensaios, com a determinação das propriedades dos mesmos, são assunto do capítulo 7.

4.1. Ensaio de Caracterização Completa

A caracterização dos solos moles do depósito foi realizada em duas etapas. As primeira e segunda etapas foram realizadas respectivamente no Laboratório de Caracterização da Geoproyetos e no Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente (LGMA) da PUC-Rio.

Na primeira etapa de ensaios, os solos das amostras deformadas, coletadas durante as sondagens de simples reconhecimento (SPT), foram utilizados. Essas amostras foram devidamente acondicionadas e identificadas imediatamente após a coleta. O transporte para o laboratório foi feito em até 5 dias depois da coleta. Esta etapa teve início após a chegada do solo no laboratório e consistiu na realização de ensaios para verificações dos teores de umidade natural, dos teores de matéria orgânica e das granulometrias – apenas por peneiramento – dos solos.

Na segunda etapa de ensaios, foram utilizados os solos das amostras *indeformadas*, adequadamente coletadas no campo, segundo procedimentos especiais para se evitar possíveis amolgamentos e se manter as características do solo *in-situ*. Neste caso, a caracterização foi realizada com as porções de solo que sobravam no processo de moldagem dos corpos de prova (CP's) e, por isso, a realização da mesma foi iniciada juntamente com o início da realização dos ensaios especiais – no mínimo seis meses após a coleta das amostras. A etapa consistiu na realização de ensaios para verificações dos teores de umidade natural, dos pesos específicos naturais dos solos, das densidades relativas dos grãos, dos teores de matéria orgânica, das granulometrias (completa) e dos índices de plasticidade dos solos.

É importante ressaltar que a primeira etapa foi realizada para atender principalmente as necessidades do projeto. Neste contexto, os ensaios (exceto umidade, que foi realizada em todas) foram realizados em amostras aleatórias. Os resultados destes ensaios permitiram se observar as características do depósito como um todo. Contudo, para se comparar diretamente com os resultados obtidos nos ensaios realizados na 2ª etapa, os mesmos, devido à heterogeneidade do depósito, serão utilizados criteriosamente.

Os resultados dos ensaios realizados na 2ª etapa serão apresentados por completo nos subitens seguintes e aqueles referentes à 1ª etapa serão incluídos apenas quando de interesse. É importante citar a falta de controle dos procedimentos adotados durante a 1ª etapa de ensaios e, por assim ser, os resultados dos mesmos serão adotados de forma secundária (para darem força, ou não, aos resultados da 2ª etapa).

Ressalta-se que, em ambas as etapas de ensaios, apenas procedimentos convencionais foram adotados nas determinações e, por isso, não será realizado um relato minucioso dos mesmos. Destaques serão dados aos problemas incomuns, geralmente não observados quando se trabalha com solos convencionais.

4.1.1. Índices Físicos

O estado físico de um solo é normalmente descrito por uma série de grandezas que relacionam os pesos e/ou volumes das partes sólidas e dos vazios (ar/água) do mesmo. Estas grandezas (índices) relacionam entre si e a partir do conhecimento de três delas, é possível determinar todas as outras. Intuitivamente, nota-se que o estado físico se refere à massa do solo e não às partes constituintes do mesmo. Por estarem diretamente relacionados com o comportamento do solo (ex.: comportamento das turfas de Middleton, mostrado por Mesri *et al*, 1997), o conhecimento dos índices físicos é de grande importância.

Assim sendo, foram feitas no laboratório determinações dos teores de umidade dos solos, w , dos pesos específicos naturais dos mesmos, γ_{nat} , e das densidades relativas dos grãos, G_s . Os métodos (e/ou detalhes dos mesmos) adotados na determinação dos índices, assim como os resultados obtidos, estão apresentados a seguir.

4.1.1.1. Teor de Umidade, w

A determinação do teor de umidade dos solos foi realizada em todas as amostras – deformadas (1ª etapa) e indeformadas (2ª etapa) – coletadas no campo. Na 1ª etapa, o teor de umidade, principalmente, foi determinado após a chegada do solo no laboratório. No caso da 2ª etapa, o teor de umidade foi determinado apenas na época da moldagem dos corpos de prova. Nas determinações, a secagem do solo foi realizada em estufa, onde a temperatura era mantida entre 105 e 110 °C, até que a massa do solo se mantivesse constante.

Os resultados destas determinações podem ser vistos nas figuras 4.1 (a) e (b). Respectivamente, os resultados são referentes às amostras coletadas nas regiões em que a camada de solos moles se apresentava mais (entre as estacas 60+00 e 66+10) e menos espessa (entre as estacas 66+10 e 71+00) – ver item 3.2. Os dados da 2ª etapa são referentes apenas às primeiras determinações feitas para cada amostra.

Nas figuras 4.1 (a) e (b), os resultados relativos às amostras deformadas estão apresentados em conjunto com os resultados relativos às amostras indeformadas. Eles foram respectivamente representados por pontos multiformes preenchidos e triangulares sem preenchimento. Pode ser verificado que os resultados dos ensaios realizados em ambas as etapas (com amostras deformadas e *indeformadas*) apresentam boa concordância, contudo com notória variabilidade (espacial).

A avaliação dos teores de umidade permite também confirmar a profundidade da camada de solos moles, uma vez que estes solos podem ser associados aos altos valores dos índices. Neste caso, observa-se que os resultados corroboram as conclusões obtidas a partir das sondagens do tipo SPT, a partir das quais foi possível dividir o depósito, no que se refere à espessura da camada de solos moles, em duas regiões homogêneas: (1) anterior à estaca 66+10, com espessura de cerca de 17 m e (2) posterior à estaca 66+10, com espessura de cerca de 12 m. Nas figuras 3.8 e 3.9, os valores dos teores de umidade (1ª etapa de ensaios) foram mostrados juntos com os resultados das sondagens do tipo SPT (N_{spt}).

Na medida em que o intervalo de tempo entre a extração das amostras deformadas e a realização dos ensaios, com emprego destas amostras, foi curta e também que as umidades naturais das amostras foram corretamente conservadas neste intervalo de tempo, é razoável considerar que a umidade determinada na 1ª etapa (ensaios com amostras deformadas) é representativa da umidade do solo *in-situ*. Pode-se, então, com base na verificação da boa concordância dos resultados obtidos a partir das determinações feitas em ambas as etapas, com amostras deformadas e indeformadas, inferir que as umidades para as quais os corpos de

prova (ensaios de adensamento) foram moldados no laboratório são também representativas da condição de campo.

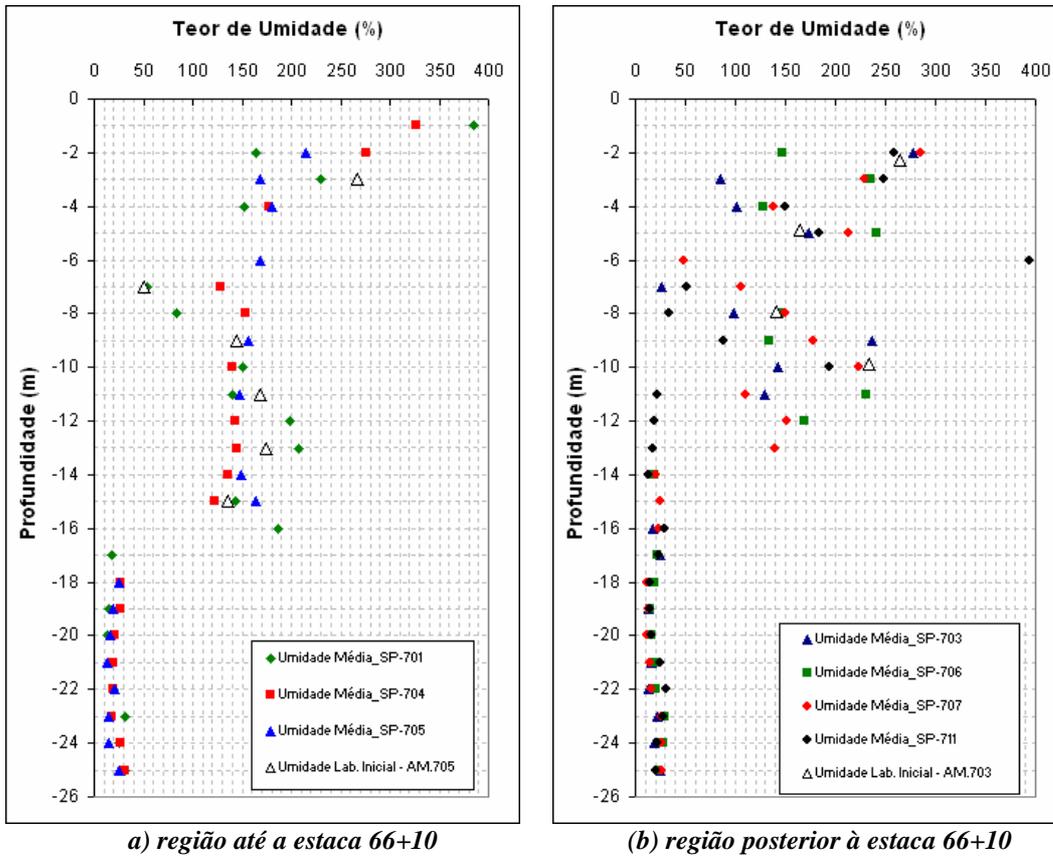


Figura 4.1 – Teores de umidade dos solos – 1ª e 2ª etapas de ensaios.

Quanto à variabilidade da umidade, os resultados apresentados permitem dizer que o depósito de solos moles é mais homogêneo na região entre as estacas 60+00 e 66+10 – figura 4.1 (a) – do que na região entre as estacas 66+10 e 71+00 – figura 4.1 (b). Verifica-se, no primeiro caso, que a umidade varia de 400%, superficialmente, a 150%, em uma profundidade de 5 m. Abaixo desta profundidade, até o limite da camada de solos moles, observa-se uma umidade aproximadamente constante de cerca de 150%. No segundo caso, pode ser verificado que, ao longo de toda a camada, a umidade varia geralmente entre 100 e 250%.

Pode ser verificado também que, próximo à profundidade de 7 m, em ambas as figuras, houve uma queda pontual nos valores de umidade. Nesta profundidade, os teores variaram entre 30 e 55%, que são da mesma ordem de grandeza daqueles obtidos para os solos da camada mais profunda – abaixo dos solos moles.

Os resultados das determinações feitas na 2ª etapa de ensaios foram mostrados na tabela 4.1, apresentada no final do item 4.1.1.3.

4.1.1.2.

Peso Específico Natural dos Solos, γ_{nat}

Os pesos específicos dos solos, γ , foram determinados apenas na 2ª etapa, durante a realização dos procedimentos de moldagem dos corpos de prova dos ensaios de adensamento. Os volumes dos corpos de prova eram definidos com base nas dimensões dos anéis metálicos e, anteriormente à realização dos ensaios, estes corpos de prova eram pesados, possibilitando então a determinação de γ .

Admitindo que as amostras, das quais foram moldados os corpos de prova, eram *indeformadas*, γ pode ser considerado igual a γ_{nat} (peso específico natural). De acordo com o descrito no item 3.5, foram coletadas 6 e 4 amostras ao longo da espessura da camada de solos moles nas EMI-62 e EMI-71, respectivamente. Assim sendo, dez determinação de γ_{nat} foram realizadas. Os resultados das determinações estão apresentados na tabela 4.1.

Nesta tabela, pode ser verificado que, com exceção dos solos da amostra AM.705-6,7, em que $\gamma_{nat} = 15,3 \text{ kN/m}^3$, todos os outros valores obtidos se enquadram em uma faixa de valores cujos os limites são 11,5 e 13,2 kN/m^3 . Da mesma forma que para o teor de umidade, os valores apresentados foram determinados na época da moldagem do primeiro corpo de prova de cada amostra. Contudo não foram verificadas diferenças significativas nas determinações posteriores (outros corpos de prova).

Pode ser verificado também que a amostra, para a qual foi obtido o alto valor de γ_{nat} , foi coletada próximo a profundidade onde se observou uma queda pontual do teor de umidade. Quanto aos baixos valores de γ_{nat} , eles podem, ao menos em parte, serem associados à presença de matéria orgânica na composição dos solos, conforme será apresentado adiante.

Ressalta-se que, a partir destes resultados e considerando a profundidade média em que as amostras foram coletadas, foram determinadas pontualmente as tensões efetivas verticais de campo, σ'_{v0} . Extrapolações, quando necessárias (ex.:

interpretação dos ensaios de piezocone), foram realizadas para outras profundidades. Vale lembrar que o nível freático é superficial (ver item 3.2, por exemplo). Um perfil relacionando σ'_{v0} com a profundidade será apresentado adiante (capítulo 7).

4.1.1.3.

Densidade Relativa dos Grãos, G_s

Na determinação das densidades relativas dos grãos, G_s , mais especificamente da parcela de solos que passava pela peneira 200 ($\phi = 0,075$ mm), foram utilizados picnômetros de 250 cm^3 e massas de solos secos iguais a 25 g. Em cada determinação, quatro ensaios foram realizados e o valor final de G_s foi definido pela média dos valores obtidos. Estas determinações foram realizadas apenas na segunda etapa de ensaios e os resultados das mesmas estão apresentados na tabela 4.1.

A realização dos ensaios foi um tanto quanto tediosa. Cada uma, das quatro determinações, chegava a durar mais de 2 horas. Além do tempo de duração, muita espuma era produzida durante a agitação do picnômetro sob sucção, dificultando ainda mais a tarefa, pois, além do risco de se perder material, o solo fino que subia junto da espuma aderiu às paredes do picnômetro e dificultava a visualização do seu interior.

Procedimentos habituais de se colocar os picnômetros em “banho-maria”, enquanto são agitados mecanicamente, foram experimentados, contudo não funcionaram bem para os solos muito moles em estudo. Neste caso, em que os solos aderem às paredes, os procedimentos de agitação, ainda mais sob ação do calor, devem ser executados com cuidados especiais, que não são conseguidos com a adoção dos procedimentos mecanizados, sob ação mecânica da água.

Verifica-se, na tabela 4.1, que todos os valores de G_s se enquadram em faixa de valores cujos limites são 2,36 e 2,58. Mais uma vez, pode-se dizer que os baixos valores observados, tomando como referência valores apresentados por Bowles (1997), podem estar refletindo a presença de matéria orgânica na massa de solo, pois não foi feito um tratamento para eliminação da mesma anteriormente às determinações. É importante ressaltar que, no que se refere à obtenção da amostra,

os procedimentos preconizados pela norma NBR-6508/1984 não foram adotados e, assim sendo, tem-se que admitir alguma inexatidão dos resultados dos ensaios realizados com os solos de granulometria relativamente mais grossa (ex.: AM.705-6,7; AM.703-2,0 e AM.703-4,4).

Tabela 4.1 – Resumo dos índices físicos dos solos muito moles – 2ª etapa de ensaios.

Amostras	w	γ	G_s
	(%)	(kN/m ³)	
AM.703-2,0	264,2	11,8	2,54
AM.703-4,4	165,0	11,7	2,36
AM.703-7,4	141,2	13,2	2,53
AM.703-9,4	233,8	11,6	2,54
AM.705-2,7	266,9	11,5	2,58
AM.705-6,7	51,0	15,3	2,40
AM.705-8,7	145,4	13,0	2,56
AM.705-10,7	168,9	12,4	2,44
AM.705-12,7	175,0	12,7	2,39
AM.705-14,7	136,1	12,9	2,57

4.1.2.

Características de Reconhecimento

As características de reconhecimento dos solos podem fornecer informações importantes no que se refere ao comportamento dos mesmos. Assim sendo, foram realizados ensaios para determinação das composições granulométricas, dos limites de plasticidade e dos teores de matéria orgânica dos solos. Os métodos utilizados na determinação destas características, assim como os resultados obtidos, serão apresentados a seguir.

4.1.2.1.

Composição Granulométrica

A análise granulométrica de um solo envolve a determinação da percentagem, em peso, de partículas constituintes do mesmo, que se enquadra em determinados limites de dimensão (diâmetros equivalentes). A distribuição dos

solos grossos e finos dentro destes limites de dimensão é determinada pelos métodos do peneiramento e da sedimentação, respectivamente. Os ensaios de granulometria completa (peneiramento e sedimentação) foram realizados seguindo-se os procedimentos preconizados pela Norma NBR-7181.

As curvas granulométricas dos solos de todas as amostras foram apresentadas conjuntamente na figura 4.2. Estes resultados se referem apenas à 2ª etapa de ensaios. Pode ser verificada grande variabilidade granulométrica. Não foi identificado qualquer tendência ou padrão nos resultados apresentados. Ressalta-se que, na primeira etapa, apenas o procedimento de peneiramento foi executado e por isso os resultados não foram apresentados. Contudo, pode-se dizer que os resultados da 1ª etapa confirmam a observação feita com relação à variabilidade dos resultados da 2ª etapa.

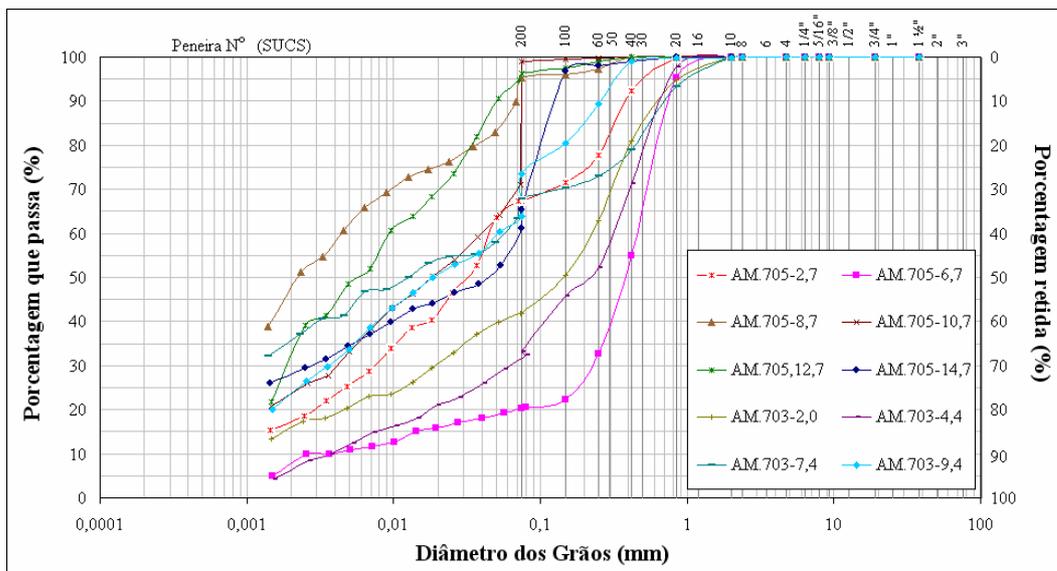


Figura 4.2 – Curvas granulométricas dos solos – 2ª etapa de ensaios.

A não observância de um padrão granulométrico reflete, ao menos em parte, as condições do ambiente de formação do solo – marinho-fluvio-lagunar – e de sua alternância ao longo do tempo (geológico). Neste caso, além da relação que existe entre as velocidades de corrente e as dimensões das partículas depositadas, deve ser citada a ocorrência de um ambiente salino, com reconhecido potencial de floculação das partículas finas em suspensão.

Especificamente, pode ser verificado que os solos da amostra AM.705-6,7, que apresentaram, relativamente aos outros solos amostrados, alto peso específico

e baixo teor de umidade, são compostos por mais de 80% de grãos de areia, que são associados a diâmetros superiores a 0,06 mm, de acordo com a escala granulométrica de solos adotada pela ABNT.

Também pode ser observada a ocorrência de mais outros dois casos (AM.703-2,0 e AM.703-4,4) em que a percentagem de areia é superior a 50%. Todos os outros solos se mostraram preponderantemente argilosos, com teores de argila e siltes (somados) sempre superiores a 55%.

Conforme mencionado, nenhum tratamento foi realizado para eliminação da matéria orgânica do solo. A presença de conchas foi observada em todas as amostras. Neste caso, aquelas de maiores dimensões foram separadas das massas de solo utilizadas nas determinações.

4.1.2.2. Limites de Consistência

A plasticidade é, devido à relação direta com o comportamento de solos finos, a qual pode ser comprovada pelas inúmeras correlações propostas na literatura, uma importante característica a ser avaliada. Geralmente, a caracterização da plasticidade dos solos é realizada com o auxílio do equipamento (concha) de Casagrande, para determinação do limite de liquidez (LL), e da tábua dessecadora, para determinação do limite de plasticidade (LP), e assim foi realizada neste trabalho. A diferença, $LL - LP$, define o índice de plasticidade, IP, dos solos. Os limites de consistência foram obtidos sem secagem prévia do solo, seguindo, por exemplo, recomendações de Ladd e DeGroot (2003). A secagem dos solos foi feita expondo as amostras à condição ambiente e, assim sendo, os ensaios, mais especificamente para obtenção dos limites de consistência, chegaram a ter duração de até três dias.

As determinações dos limites de plasticidade e liquidez dos solos foram realizadas nas duas etapas de ensaios. Para fim de comparação, os resultados obtidos foram apresentados conjuntamente. Nas figuras 4.3 (a) e (b), foram apresentados respectivamente os resultados dos limites de plasticidade e liquidez em relação à profundidade.

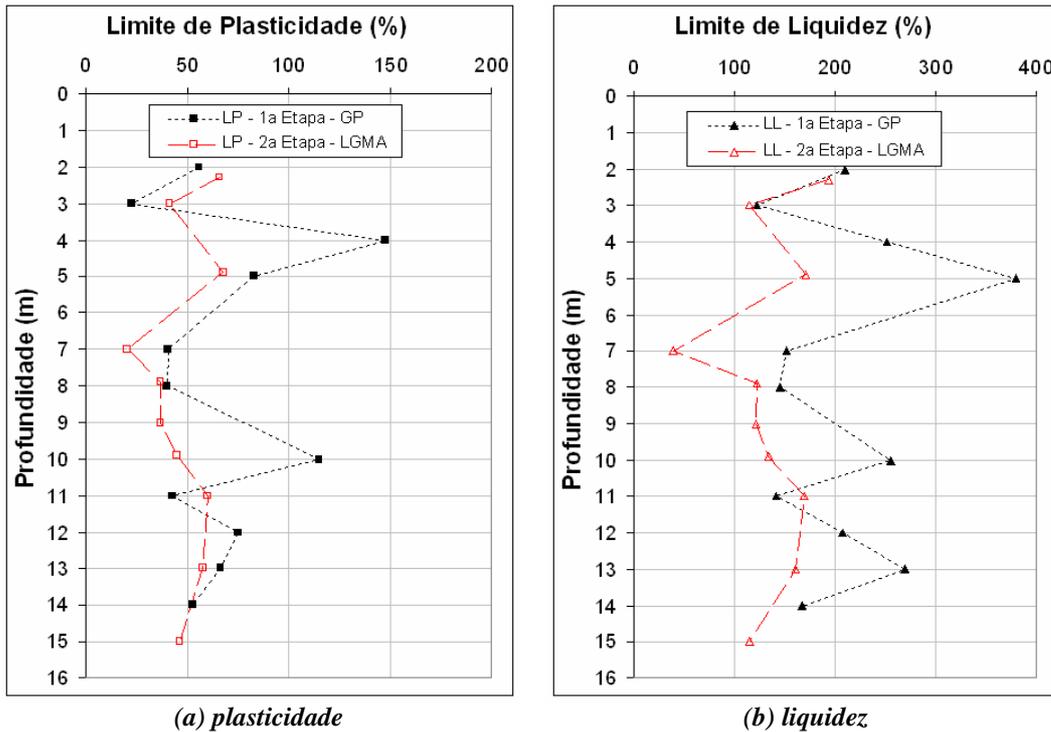


Figura 4.3 – Limites de consistência dos solos.

Um aspecto que chama atenção nas figuras 4.3 (a) e (b) é relativo aos valores mais elevados obtidos na 1ª etapa, principalmente para o limite de liquidez, para profundidades abaixo de 3 m. Neste caso, podem-se justificar os elevados valores (em relação àqueles obtidos na 2ª etapa) à variabilidade dos solos do depósito. Conforme mencionado, as amostras ensaiadas na 1ª etapa foram escolhidas aleatoriamente e não coincidiram, em algum caso, com os locais e profundidades das amostras ensaiadas na 2ª etapa. É importante ressaltar que a obtenção dos limites de consistência é subjetiva e depende da experiência do laboratorista, podendo, neste caso, em que as 1ª e 2ª etapas foram realizadas por pessoas diferentes, ser a explicação (ao menos em parte) para a diferença observada.

Outro aspecto que chama a atenção (figura 4.3) é relativo aos altos valores obtidos para os índices em ambas as etapas. Pode ser verificado que os limites de liquidez ficaram geralmente em uma faixa de valores, que varia entre 100 e 200 %, e os limites de plasticidade, em uma faixa, que varia entre 35 e 70 %. Estas faixas de valores são representativas principalmente dos resultados dos ensaios realizados na 2ª etapa.

Pode ser verificado que o teor de umidade dos solos é, na maior parte das vezes, superior ao limite de liquidez, condição esta que é típica de solos sensitivos (Almeida e Marques, 2002). Os valores tabelados de ambos limites serão mostrados posteriormente, no capítulo 7.

Com o objetivo de avaliar a secagem prévia do solo sobre os valores obtidos para os índices de plasticidade, foi realizado um único ensaio (AM.705-10,7) com a amostra seca (65 °C) e depois umedecida. O resultado mostrou, em relação ao resultado do ensaio realizado a partir da umidade natural do solo, uma redução de 169% para 94% no limite de liquidez. O mesmo não ocorreu para o limite de plasticidade, que se manteve aproximadamente inalterado (reduziu de 60,1 para 59,9 %). Conforme mostrada por Coelho (2000), a redução do LL é mais acentuada para solos com maiores teores de matéria orgânica.

4.1.2.3.

Teor de Matéria Orgânica – Perdas Por Ignição

A matéria orgânica, seja pela capacidade de reter umidade ou pela relação direta que pode existir entre o teor presente na composição do solo e as propriedades hidráulicas e mecânicas do mesmo, é uma componente fundamental a ser determinada na caracterização. Assim sendo e por conhecimento prévio das características orgânicas dos solos muito moles em estudo, a quantificação dos teores de matéria orgânica (MO) dos mesmos foi realizada nas duas etapas de ensaios.

O método das perdas por ignição (PPI) foi adotado para quantificação da matéria orgânica. Contudo, é conhecido que as perdas por ignição, podem não corresponder às perdas de matéria orgânica. A não correspondência ocorre quando perdas de outras substâncias, tais como água de constituição e carbonatos, também ocorrem, à medida que a temperatura a que a massa de solo é exposta se eleva.

As amostras dos solos, inicialmente submetidas a temperaturas de 110 °C (perdas de água livre), foram expostas, em muflas, a temperaturas finais (*tf*) de 500 °C ou 400 +/- 30 °C, respectivamente, nas 1ª e 2ª etapas de ensaios. As perdas por ignição (PPI) foram então calculadas de acordo com a expressão da equação 4.1, indicada na norma NBR13600/1996.

$$PPI (\%) = \left(1 - \frac{W^{T^{\circ C}}}{W^{110^{\circ C}}} \right) \cdot 100 \quad (4.1)$$

Onde, $W^{T^{\circ C}}$ é o peso do solo seco na temperatura final (mufla);

$W^{110^{\circ C}}$ é o peso do solo seco na temperatura de 110 °C.

Nas figuras 4.4 (a) e (b), foram apresentadas as perdas por ignição determinadas respectivamente para os solos amostrados na EMI-62 e na EMI-71. Na figura 4.4 (a), os resultados das 1ª e 2ª etapas de ensaios foram apresentados conjuntamente. Na 1ª etapa, apenas os solos das amostras coletadas ao longo da vertical 701 (EMI-62) foram ensaiados, assim sendo, na figura 4.4 (b), constam apenas resultados da 2ª etapa.

Pode ser verificado na figura 4.4 (a) que os valores determinados na 1ª etapa (500 °C) mostraram-se, para profundidades abaixo de 5 m, mais elevados do que os determinados na 2ª etapa (400 °C). Em alguns casos, as diferenças chegam a ser superiores a 300 %. Estes resultados discordantes podem ser explicados pelas diferenças de temperaturas finais de aquecimento dos solos, uma vez que todos os outros procedimentos adotados foram, a princípio, idênticos.

Como, na 1ª etapa, a temperatura de ignição foi elevada a 500 °C e reconhecendo, conforme mostrado por Franklin *et al* (1973), que temperaturas acima de 450 °C pode levar a desidratação de alguns minerais, pode-se presumir que os valores de MO estimados pela *PPI* na 1ª etapa sejam mais elevados do que os valores reais.

Na norma NBR13600/1996, é recomendada a temperatura de 440 °C para queima da matéria orgânica, muito embora, mesmo nesta temperatura, tenha sido notificado que perdas de água não livres podem ocorrer. Contudo, a elevada diferença observada nos resultados das duas etapas pode não ser explicada somente pela desidratação dos minerais, quando aquecidos a 500 °C. Para esclarecer este fato, uma verificação foi realizada.

Então, durante a realização dos ensaios na 2ª etapa, as temperaturas de ignição foram elevadas até 600 °C, superior a temperatura imposta na 1ª etapa. Os resultados desta verificação, também mostrados na figura 4.4 (a), revelam que

quando se elevou a temperatura de 400 para 600 °C a PPI aumentou de 45 a 150%. Contudo, ao se comparar os valores obtidos nas 1ª (500 °C) e 2ª (600 °C) etapas, verifica-se que os últimos, apesar da temperatura de ignição mais elevada, tiveram perdas menores que os primeiros, o que indica que outra causa realmente deve estar associada à elevada diferença observada entre os resultados das duas etapas de ensaios.

O tempo de exposição da amostra à temperatura elevada (400 °C ou 600 °C) é um fator que pode influenciar os resultados e, para avaliação deste fator, as perdas por ignição foram avaliadas para os tempos de permanência das amostras na mufla de 5 para 12 horas. Como resultado, verificou-se um aumento que varia entre 1,1 e 8,5% nas perdas por ignição. Os resultados da figura 4.4 são referentes ao tempo de permanência de 12 horas (valores mais altos), conforme recomendado na NBR13600/1996. Assim sendo, apesar da importância, o tempo de exposição da amostra à alta temperatura ainda não explica a referida diferença nos resultados.

Uma última avaliação, na qual as perdas por ignição foram determinadas para temperaturas de exposição de 400, 500 e 600 °C, ainda foi realizada. Nesta avaliação, foram utilizadas apenas amostras coletadas na EMI-62, nas profundidades médias de 7, 9 e 13 m. Os resultados podem ser vistos na figura 4.4 (c), onde se verifica que as perdas ocorridas entre 400 e 600 °C chegam a ser da ordem de 150 % das perdas ocorridas até 400 °C. Um aumento significativo das perdas (variando entre 76 e 89% das perdas ocorridas entre 400 e 600 °C) ocorreu quando a temperatura varia de 400 para 500 °C.

Os números apresentados não permitem se fazer algum tipo de afirmação conclusiva a respeito do método de determinação da matéria orgânica. Contudo, a cor esbranquiçada adquirida pelo solo, depois de exposto a 400 °C, durante 12 horas na mufla, corroboram as conclusões do trabalho de Franklin *et al* (1973). Neste caso, os resultados indicam que as determinações dos teores de matéria orgânica dos solos devem ser feitas com temperaturas inferiores a 450 °C (ex.: 430 °C) e que uma parte significativa dos minerais presentes nos solos do depósito em estudo apresentam temperatura de desidratação entre 450 e 500 °C.

Contudo, antes de se fazer conclusões mais seguras, é importante realizar determinações diretas da constituição mineral dos solos e de determinações do teor de matéria orgânica por métodos mais confiáveis (termogravimetria).

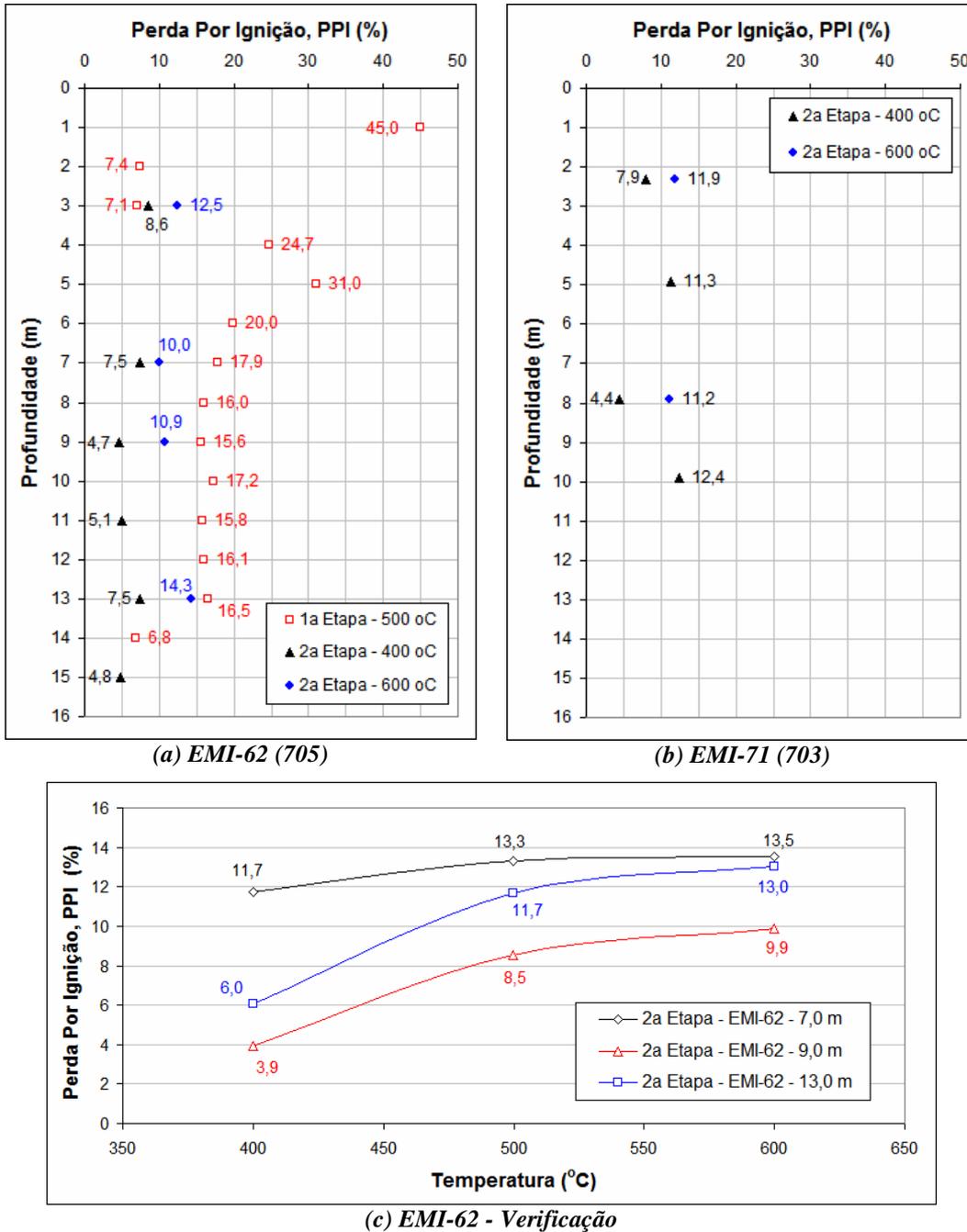


Figura 4.4 – Perdas por ignição (PPI) dos solos.

Outros aspectos podem ainda explicar a referida diferença verificada nas determinações das duas etapas, tal como os procedimentos de execução dos ensaios. Neste caso, os volumes de solos utilizados nas determinações podem explicar, ao menos em parte, os resultados divergentes. Amostras com maiores

volumes de solo e, assim sendo, mais representativas das massas de solos do depósito, como as da 1ª etapa de ensaios, contêm provavelmente maiores teores de matéria orgânica, muitas vezes representada por elementos de maiores dimensões, que foram separados das amostras de menores volumes (2ª etapa). Neste caso, pode-se presumir que os valores de MO obtidos na 1ª etapa sejam mais representativos dos reais. Reconhece-se também que baixos volumes de solos, como os utilizados na 2ª etapa de ensaios, devido à sua quantidade restrita, são mais suscetíveis a erros de determinações. É importante ressaltar também que nas caracterizações realizadas nas duas etapas utilizaram-se amostras de solos coletadas em locais diferentes e, neste caso, a variabilidade natural inerente aos solos do depósito pode explicar a referida diferença entre resultados obtidos nas 1ª e 2ª etapas.

Diante do exposto, os valores reais dos teores de matéria orgânica do solo devem ser intermediários àqueles medidos nas 1ª e 2ª (400 °C) etapas de ensaios. De uma forma geral, foram obtidos valores que variam entre 4 e 20% para profundidades abaixo de 5 m. Os valores mais baixos são considerados mais representativos. Todos os valores obtidos podem ser conferidos na figura 4.4.

O teor de matéria orgânica [dados relativos a 2ª etapa (400° C)] também permite dizer que o depósito de solos moles apresenta maior homogeneidade na região da EMI-62. Esta componente do solo interfere diretamente nos valores dos índices físicos determinados no item 4.1.1 (tabela 4.1).

Sem considerar os valores obtidos, mas a tendência em relação à profundidade, verifica-se que, abaixo de 6 m (EMI-62), em ambas as etapas, os valores apresentam pouca variabilidade. Acima desta profundidade, nenhuma tendência foi observada, podendo os valores obtidos na 1ª etapa serem superiores ou inferiores aos da 2ª etapa. Neste caso, a única explicação cabível seria uma maior variabilidade do depósito até 5 m de profundidade.

Com base no exposto, sugere-se que, na determinação da matéria orgânica, as perdas por ignição dos solos devem ser determinadas consecutivamente para temperaturas de 400, 500 e 600 °C. O tempo de exposição do solo em cada um destas temperaturas deve ser de no mínimo 12 horas. Preferencialmente, amostras deformadas, com maiores volumes, devem ser coletadas para este objetivo.

4.2. Ensaio de Adensamento

Duas análises de importância especial na previsão do comportamento de aterros construídos sobre depósitos de solos moles são relacionadas: 1) à quantificação das deformações induzidas na fundação pelo carregamento e 2) à evolução dessas deformações no tempo. Estas duas análises são feitas a partir do conhecimento das características de compressibilidade e permeabilidade do solo mole de fundação. O conhecimento destas características pode ser obtido, por sua vez, a partir da análise dos resultados de ensaios de adensamento oedométricos realizados em corpos de prova moldados de amostras *indeformadas*.

Assim sendo, foi desenvolvida no Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente (LGMA) da PUC-Rio uma campanha de ensaios de adensamento. Esta campanha consistiu na realização de ensaios convencionais e especiais, tanto no que diz respeito à técnica de ensaio como no que diz respeito à condição de moldagem do corpo de prova.

Os ensaios convencionais foram realizados em todas as dez amostras *indeformadas* coletadas no campo (ver item 3.5). A partir dos resultados desses ensaios convencionais, foi possível fazer uma avaliação da qualidade das amostras, com base na qual se definiu quatro de boa qualidade para realização dos ensaios especiais. Os ensaios especiais foram executados com corpos de prova moldados das amostras AM.703-2,0 e 7,4 e AM.705-2,7 e 10,7. Os ensaios com velocidade de deformação constante são exceções, pois também foram executados com CP's moldados das amostras AM.703-4,4 e 9,4. Ressalta-se que, com base nos resultados destes ensaios, apenas a determinação pontual das características de compressibilidade e permeabilidade do solo pode ser realizada.

Na sequência, estão descritas as técnicas adotadas para execução dos ensaios e preparação dos corpos de prova. Da mesma forma, estão descritos os cuidados tomados com as amostras no laboratório. Os resultados dos ensaios, assim como a avaliação da qualidade dos corpos de prova, que necessariamente devem ser *indeformados* para uma análise mais realística das características do solo, serão apresentados posteriormente.

4.2.1. Técnica de Ensaio

O ensaio de laboratório tradicionalmente utilizado para quantificar os parâmetros do solo que caracterizam a grandeza e a velocidade da ocorrência dos deslocamentos de um depósito de solos moles, sob carregamento, é o ensaio de adensamento incremental, e por isso é chamado ao longo deste trabalho de convencional.

Reconhecidamente o ensaio convencional possui limitações (consultar item 2.2.2), que podem ser superadas com a realização de ensaios de velocidade de deformação constante.

Neste trabalho, foram então realizados ensaios convencionais e de velocidade de deformação constante (CRS). A descrição das duas técnicas, assim como dos equipamentos utilizados para realização dos ensaios, será feita nos subitens seguintes.

4.2.1.1. Ensaio Convencionais (Ensaio de Carregamento Incremental)

Os ensaios de carregamento incremental foram realizados em prensas do tipo Bishop. Os braços de alavanca dessas prensas possuem uma relação de 1:10 entre a carga aplicada e a carga transmitida para o corpo de prova. Os deslocamentos verticais dos corpos de prova foram medidos em extensômetros mecânicos, de sensibilidade de 0,01 mm, e registrados manualmente. As células de adensamento da prensa possuem dimensões que permitem a realização de ensaios em corpos de prova com diâmetro e altura de cerca de 70 e 19 mm (dimensões do anel rígido), respectivamente. Nas figuras 4.5 (a) e (b), duas fotos mostram respectivamente as vistas frontal e lateral de uma das prensas de adensamento utilizadas.

Os corpos de prova, depois de moldados e pesados, eram levados para a prensa, onde, devido à característica muito mole dos solos, eram encaixados na célula de adensamento cautelosamente. Os anéis metálicos que envolviam os CP's eram previamente lubrificadas com vaselina. Acredita-se que, em parte, o sucesso de procedimento de transferência dos CP's se deve às características tixotrópicas

exibidas pelo solo (ver item de moldagem dos CP's amolgados), principalmente daquele da parte superior do depósito.



Figura 4.5 – Prensa de adensamento do tipo Bishop – LGMA (PUC-Rio).

Duas pedras porosas, colocadas no topo e na base, permitiam a drenagem dos CP's, que eram submetidos a um fluxo vertical. Com cerca de 24 horas antes do início dos ensaios, iniciava-se o procedimento de saturação das pedras porosas. As pedras eram imersas em uma bacia com água, que era fervida posteriormente. Então, elas eram mantidas imersas até atingirem a temperatura do laboratório, no início do ensaio. Folhas de papel filtro preveniam a eventual colmatção, com a consequente redução da permeabilidade, das pedras porosas pelas partículas mais finas do solo. Então, com a célula de adensamento montada, os sistemas de aplicação de carga eram instalados e os CP's submergidos.

Montada a célula de carga, o primeiro estágio de carregamento (carga de assentamento) era aplicado. Este, como todos os outros estágios, teve um tempo de duração de 24h. O primeiro nível de tensão vertical ao qual os CP's foram impostos foi de cerca de 3,7 kPa. A cada período de 24 h, o nível de tensão era dobrado – $\Delta P/P = 1$. Ao final de 8 dias, cerca de 492 kPa eram aplicados nos CP's. Quanto ao descarregamento, eles foram realizados em três etapas, em períodos de 8 horas cada um, até se atingir o nível de tensões proporcionado pela carga de assentamento.

Vale a pena ressaltar que, devido ao baixo valor da carga de assentamento, atenção especial, para garantir que não haveria a expansão do corpo de prova, foi dada no momento da submersão do mesmo.

4.2.1.2.

Ensaio Especiais (Velocidade de Deformação Constante – CRS)

Os ensaios de velocidade de deformação constante foram realizados em uma prensa de carregamento axial controlado, adaptada para uma célula de adensamento convencional. A adaptação do equipamento foi realizada no LGMA (PUC-Rio) por Ribeiro (1992). O equipamento permite que sejam ensaiados corpos de prova com diâmetro de cerca de até 9 cm. Contudo, para este trabalho, foi utilizado um anel redutor, que permitiam ensaiar CP's com 5 cm de diâmetro. A altura final desses CP's era de 2 cm. Uma foto do equipamento montado, durante a realização de um ensaio, pode ser vista na figura 4.6.



Figura 4.6 – Prensa para ensaios de adensamento do tipo CRS – LGMA (PUC-Rio).

Da mesma maneira que realizado no adensamento convencional, depois de moldados e pesados, os corpos de prova eram transferidos para a célula de adensamento cautelosamente. A célula de adensamento por sua vez apresenta características diferentes da utilizada no ensaio convencional. Na base, sob a pedra porosa, o sistema de drenagem estava ligado a um transdutor de pressão. Assim sendo, a drenagem, que era garantida pela instalação de uma pedra porosa,

protegida por uma folha de papel filtro, ocorria apenas pelo topo do CP, enquanto as poro-pressões eram medidas na base do mesmo. Cuidados com a saturação foram tomados para se garantir a ausência de ar no sistema de medição de poro-pressão. Também, da mesma maneira que para o ensaio convencional, com cerca de 24 horas antes do início dos ensaios CRS, iniciava-se o procedimento de saturação das pedras porosas.

Sobre a pedra porosa superior, o pistão de carregamento do CP era ajustado. Este ajuste era realizado colocando-se o mecanismo de carregamento na função manual. No topo da célula de adensamento, posicionava-se o extensômetro. Depois que as leituras (transdutor de pressão, célula de carga e medidor de deslocamentos) iniciais eram realizadas, o sistema automático de carregamento era acionado. Na função automática, impunha-se à célula de adensamento uma velocidade de “deslocamento” constante no sentido do pistão. Foi utilizado um sistema de aquisição de dados também automático.

Um dos pontos-chave para o sucesso do ensaio CRS é a determinação da velocidade de deformação imposta ao corpo de prova ao longo da duração de todo o ensaio. Na literatura [ex.: Wissa *et al* (1971) e Armour e Drnevich (1986)], diversas propostas podem ser encontradas, mas sem um consenso entre elas.

Neste trabalho, devido aos diversos fatores intervenientes, podendo-se citar a falta de conhecimento prévio das características dos solos, a grande variabilidade dos mesmos, às vezes, dentro de uma mesma amostra, e o número reduzido de amostras, a velocidade dos ensaios foi definida arbitrariamente. Dados de um ensaio inicial, que foi interrompido pela falta de luz prolongada no laboratório, ajudaram a definir melhor a velocidade dos ensaios. Corpos de prova com umidades aparentemente diferentes foram ensaiados com velocidades diferentes.

Na tabela 4.2, podem ser vistas as velocidades com as quais os ensaios CRS foram realizados, assim como o valor máximo obtido para a relação entre poro-pressão medida na base e tensão vertical aplicada ao corpo de prova, u_b/σ_v . Nota-se que a razão u_b/σ_v variou bastante, refletindo, em parte, a variabilidade dos solos. Ressalta-se que o valor máximo obtido para esta razão está diretamente relacionado à velocidade adotada no ensaio.

Partindo das hipóteses de que a distribuição da poro-pressão no corpo de prova é parabólica e que a curva tensão-deformação é não-linear, a tensão vertical efetiva média, σ'_v , aplicada ao corpo de prova durante o ensaio foi determinada a partir da relação mostrada na equação 4.2.

$$\sigma'_v = \left(\sigma_v^3 - 2 \cdot \sigma_v^2 \cdot u_b + \sigma_v \cdot u_b^2 \right)^{1/3} \quad (4.2)$$

Tabela 4.2 – Dados dos ensaios do tipo CRS.

Amostra	Velocidade de Deformação (mm/min)	u_b/σ_v (%)
AM.703 – 2,0	0,0073	32
AM.703 – 4,4	0,0097	2
AM.703 – 7,4	0,0097	55
AM.703 – 9,4	0,0097	12
AM.705 – 2,7	0,0073	17
AM.703 – 10,7	0,0097	13

4.2.2.

Procedimentos para Minimização do Amolgamento dos CP's

A começar da coleta da amostra no campo até a moldagem do corpo de prova no laboratório, em todas as etapas podem ocorrer amolgamentos dos solos amostrados, cujos efeitos refletem-se diretamente nos resultados dos ensaios de laboratório e, conseqüentemente, nos parâmetros a serem determinados para estes solos.

No laboratório, as principais fontes de amolgamento estão relacionadas às etapas de armazenagem das amostras, de extração das amostras dos tubos amostradores e da moldagem dos corpos de prova. Em todas essas etapas, podem ser adotados procedimentos que minimizam os possíveis amolgamentos. Os procedimentos, que se julgaram mais adequados, foram adotados no desenvolvimento deste trabalho e estão relatados nos subitens seguintes.

4.2.2.1. Armazenagem das Amostras Indeformadas

As dez amostras indeformadas coletadas no campo ficaram armazenadas por um período de cerca de seis meses, até o início da realização dos ensaios, na câmara úmida do LGMA – PUC-Rio. Até a finalização da campanha de ensaios, aproximadamente mais seis meses se passaram, totalizando então cerca de um ano de armazenagem das amostras.

Durante esse período de armazenagem, tinha-se uma preocupação especial com relação à conservação da umidade *in-situ* dos solos. Assim sendo, depois da chegada das amostras no laboratório, que ocorreu no dia seguinte ao da coleta, foi feito um reforço da vedação, com parafina e papel filme de *PVC*, que já havia sido cuidadosamente feita no campo. Durante os primeiros seis meses, foi feita uma conferência semanal da vedação das amostras. Ao longo desse período, nenhum sinal de perda de umidade foi observado.

Na câmara úmida, se matinha as amostras em uma temperatura controlada de 20 +/- 3 °C (mesma do laboratório). No que se refere à proteção das amostras contra impactos, o risco foi minimizado pelo acesso restrito que se mantinha no ambiente.

Depois de cada procedimento de corte dos tubos amostradores (item 4.2.2.2), para moldagem dos corpos de prova (item 4.2.2.3), nova vedação era realizada também com parafina e papel filme de *PVC*. Os solos que sobravam do processo de moldagem dos corpos de prova, e não eram aproveitados no primeiro instante para caracterização da amostra, eram armazenados em sacos plásticos, devidamente identificados, e também eram mantidos na câmara úmida até a data da utilização dos mesmos. Durante o período de armazenagem, não foram identificadas (visualmente) alterações nas condições das amostras.

É importante ressaltar que as sub-amostras (item 4.2.2.2) foram vedadas com papel filme de *PVC* durante o período que seguia o procedimento de corte da amostra e antecedia o procedimento de moldagem do corpo de prova.

4.2.2.2. Extração das Amostras

A interação desenvolvida entre a amostra e a parede do tubo amostrador pode causar um severo amolgamento durante o processo de extração das amostras no laboratório (Ladd e DeGroot, 2003). Com o objetivo então de se evitar tal fonte de amolgamento, Ladd e DeGroot (2003) fizeram uma série de recomendações para extração da amostra do tubo amostrador, que foram seguidas, com algumas adaptações, na realização deste trabalho. Os procedimentos adotados estão relatados a seguir. A figura 4.7 mostra detalhes das principais etapas do procedimento.

Inicialmente, era feita uma marcação externa no tubo amostrador, a qual indicava a posição do corte ou altura da sub-amostra – Fig. 4.7 - (a). Após, com o tubo apoiado em um suporte horizontal, cortava-se a parede do mesmo com o auxílio de uma serra fina. Um pequeno segmento da parede era deixado até que, com o auxílio de uma corda de violão, a amostra de solo fosse cortada – Fig. 4.7 - (b). Tal procedimento foi adotado para se evitar a “quebra” do solo, assim como minimizar o efeito do corte da amostra. Depois de se cortar o restante do tubo, a seção cilíndrica contendo parte da amostra a ser ensaiada era levada para uma mesa, onde, com o auxílio da corda de violão, era realizada a separação entre tubo e amostra – Fig. 4.7 - (c). Diversas rotações eram realizadas com a corda de violão ao longo da interface parede do tubo-solo. Então, a amostra podia ser extraída do tubo amostrador utilizando-se um suporte de diâmetro pouco inferior ao do tubo – Fig. 4.7 - (d). Neste último procedimento, existem algumas variações, que serão relatadas posteriormente. A altura da sub-amostra era determinada pela soma das alturas do corpo de prova a ser moldado e de duas sobras, que eram deixadas nas partes inferior e superior do mesmo. Ressalta-se que as alturas das sobras devem ser tanto maiores quanto maiores forem as incertezas com relação ao tipo de solo (decorrentes da variabilidade do depósito, ou presença de intrusões, tais como: conchas, veios de areia ou raízes). Quando se corta o tubo com maiores alturas, é possível fazer deslocamentos do anel rígido (ver procedimento de preparação dos corpos de prova) de forma a evitar, no caso do aparecimento de alguma intrusão, o descarte da sub-amostra. Conforme mencionado, estas sobras de solos eram

utilizadas em uma etapa posterior na realização dos ensaios caracterização, que foram descritos anteriormente.

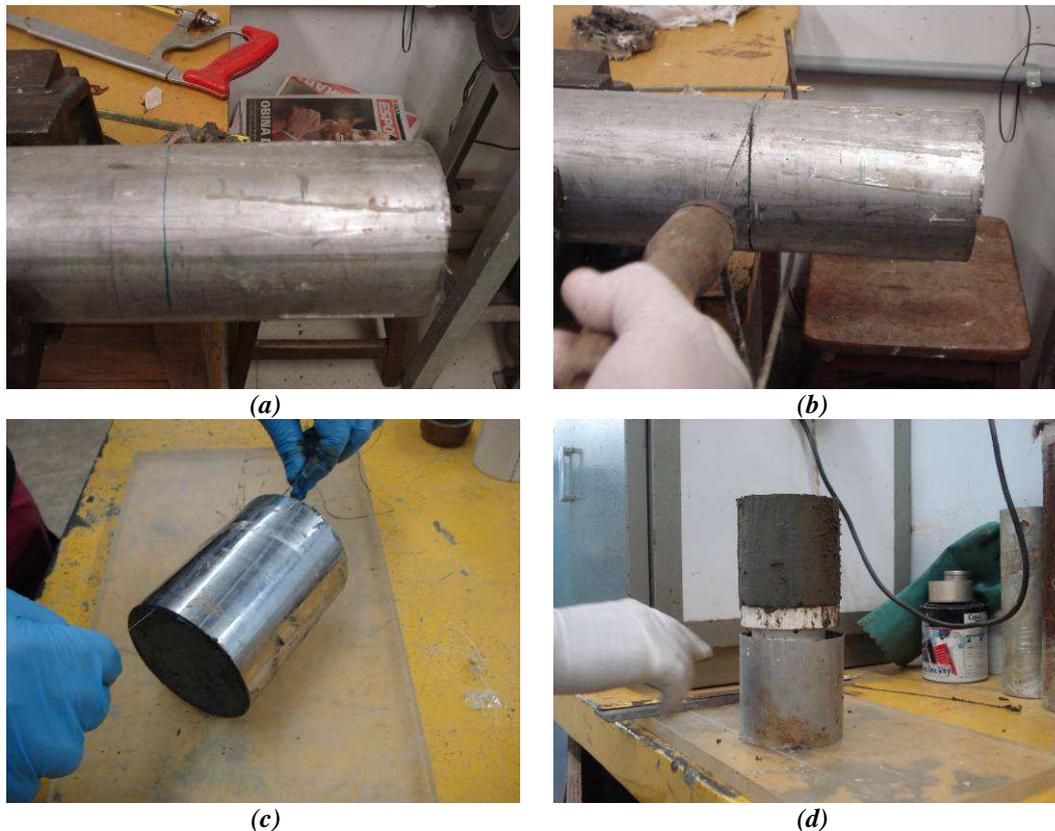


Figura 4.7 – Processo de extração da amostra do tubo amostrador.

4.2.2.3. Moldagem dos Corpos de Prova (CP's)

A partir do procedimento de separação entre o tubo amostrador e a amostra, que se refere à moldagem dos corpos de prova propriamente dita, os procedimentos adotados se diversificaram.

Da mesma forma que em relação aos tipos de ensaios realizados, os procedimentos de moldagem foram classificados como convencionais e especiais. Os convencionais se referem àqueles corriqueiramente adotados no LGMA – PUC-Rio, isto é: CP indeformado e moldado na direção horizontal. Os especiais se referem àqueles que, devido a muito baixa consistência exibida pelo solo ou pela busca de uma característica específica do mesmo ou ainda pela limitação dos acessórios do equipamento, exigiram a adoção de procedimentos não corriqueiros ou especiais. Todos estes procedimentos serão descritos nos subitens seguintes.

No que se refere à forma e às dimensões dos corpos de prova, elas são obviamente equivalentes àquelas proporcionadas pelas características do equipamento, mais especificamente do anel rígido. Assim sendo, no final do processo de preparação dos corpos de prova, estes apresentavam a forma de um disco, com cerca de 70 mm de diâmetro e 19 mm de espessura, no caso dos ensaios com múltiplos estágios de carregamento, e com cerca de 50 mm de diâmetro e 20 mm de espessura, no caso dos ensaios com velocidade constante de deformação.

4.2.2.3.1. Procedimentos Convencionais

Os procedimentos convencionais, conforme mencionado, se referem àqueles corriqueiramente realizados no laboratório, isto é, que permitem a obtenção de corpos de prova indeformados e nos quais os CP's são moldados na direção horizontal.

Primeiramente, no que se refere às direções de moldagem dos corpos de prova, em relação à orientação da amostra, as duas (horizontal e vertical) usualmente empregadas foram apresentadas na figura 4.8. Chama-se a atenção para o usual alinhamento das partículas de solos depositados em relação ao carregamento e à direção do fluxo (vertical). Ressalta-se que o alinhamento das partículas do solo, conforme se pode verificar na figura, é mais provável de ocorrer em solos fortemente sobre-adensados.

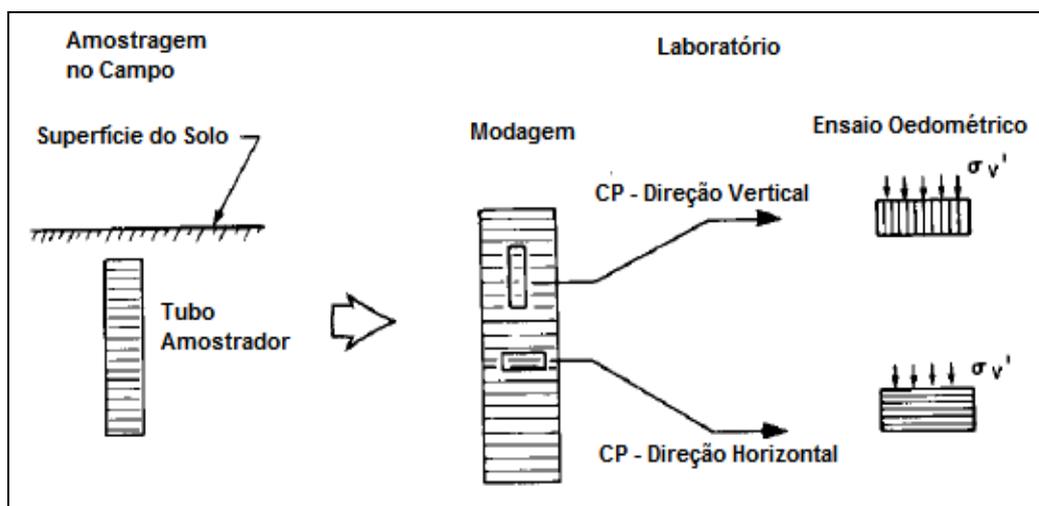


Figura 4.8 – Posição de moldagem dos corpos de prova em relação à orientação da amostra.

No que se refere à obtenção de corpos de prova indeformados, cuidados adicionais, depois de executado o procedimento de separação entre a amostra e a parede do tubo amostrador, foram tomados. Esses cuidados se referem a precauções para evitar amolgamentos (ou até a perda do CP) causados pela introdução do anel na sub-amostra e pela regularização dos CP's, nas superfícies de topo e de base do anel.

Assim sendo, depois de centralizar e apoiar o anel no topo da sub-amostra, ainda sem a retirada do tubo, apoiava-se o conjunto sobre uma peça circular com diâmetro levemente inferior ao diâmetro interno do tubo. Então, concomitantemente com a retirada do tubo, que era realizada em etapas, com a aplicação de leves esforços verticais (para baixo), promovia-se a introdução do anel, que era facilitada pelos: (1) corte do excesso de solo da região externa ao anel e sobre o topo do tubo (com auxílio de uma corda de violão adaptada à estrutura de uma serra), (2) biselamento da extremidade inferior do anel e (3) lubrificação das paredes do anel com vaselina. Neste caso, vale a pena ressaltar que a lubrificação das paredes dos anéis também promovia uma minimização de erros relacionados com o atrito lateral desenvolvido durante a deformação do corpo de prova sob carregamento nos ensaios.

A presença de intrusões, tais como conchas, raízes e/ou lentes de areia, era, por exemplo, uma preocupação extra durante o procedimento de moldagem (ver item 4.2.2.2). Uma vez que procedimentos de avaliação das amostras, com o emprego de técnicas não destrutivas, tal como a radiografia, conforme sugerido por Jamiolkowski *et al* (1985) e Ladd e DeGroot (2003), ainda não são corriqueiramente adotados no LGMA – PUC-Rio, apenas a avaliação visual da superfície da subamostra era realizada, antes do início do processo de moldagem, para detecção da possível presença destas intrusões. Nesta etapa, a presença de tais intrusões poderia indicar a necessidade de se deslocar o anel rígido para uma posição não centralizada em relação às bordas da amostra.

Depois então de se introduzir o anel, até que houvesse uma sobra de material em ambas as extremidades, e da completa retirada do tubo, outra avaliação visual era realizada para detecção mais uma vez da possível presença de intrusões, com dimensões que influenciariam os resultados a serem obtidos. Nos

casos em que não eram observadas quaisquer inclusões do tipo, as extremidades do topo e da base do anel eram regularizadas, sendo utilizada uma corda de violão, que para o propósito de corte estava esticada e adaptada à estrutura de uma serra, e uma régua de aço. Caso contrário, na presença de alguma inclusão, o anel era deslocado para baixo (lembrar das sobras – item 4.2.2.2).

Ressalta-se que na campanha de ensaios nenhum corpo de prova foi descartado pela presença de inclusões, contudo as subamostras eram cortadas com sobras maiores. Após a realização desses procedimentos, os corpos de prova eram pesados, para então serem conduzidos cuidadosamente para a célula de adensamento.

4.2.2.3.2. Procedimentos Especiais

Os ensaios especiais, conforme mencionado, se referem àqueles que exigiram a adoção de procedimentos diferentes dos usualmente adotados (ensaios convencionais). Assim sendo, no que se refere à moldagem dos corpos de prova, os procedimentos foram divididos em três tipos: 1) moldagem coincidente com a direção vertical da amostra, 2) corpos de prova amolgados e 3) corpos de prova moldados para realização dos ensaios do tipo CRS. Estes procedimentos estão descritos nos subitens seguintes.

Para os casos dos ensaios realizados com corpos de prova *indeformados*, todos os procedimentos de moldagem adotados são bastante parecidos, então foram descritas apenas as modificações adotadas em relação ao procedimento convencional.

Corpos de Prova Moldados na Direção Vertical

Ensaio realizado com os corpos de prova moldados na direção vertical permitem a obtenção de dados que caracterizam a anisotropia do solo (obviamente, tendo sido realizados ensaios convencionais). A figura 4.8 mostra também a posição do corpo de prova vertical em relação à posição da amostra.

Neste caso, as diferenças em relação ao ensaio convencional (amostra horizontal) consistem em: 1) a subamostra era completamente retirada do tubo amostrador e 2) a subamostra era apoiada lateralmente na bancada. Para isto, era

necessário se recortar dois arcos diametralmente opostos nas laterais da subamostra – um para garantir o apoio estável da subamostra na superfície da bancada e o outro para garantir o apoio estável do anel sobre a subamostra.

A figura 4.9 mostra o anel rígido apoiado na subamostra, anteriormente ao início da inserção do anel, que era realizada em etapas, com a aplicação de leves esforços verticais (para baixo) e cortando-se o excesso de material da região externa ao anel e sobre o topo do tubo. Deve ser notado que, devido às maiores dimensões da subamostra, as preocupações com a presença de intrusões era minimizada.



Figura 4.9 – Detalhes do procedimento de moldagem de um CP na direção vertical.

Corpos de Prova Amolgados

No processo de moldagem dos corpos de prova amolgados, procedimentos especiais, que possibilitavam a moldagem de lamas, foram adotados. Anteriormente à definição dos procedimentos, outras sequências foram testadas, contudo sem sucesso.

Na primeira opção de moldagem, tentou-se construir, depois de amolgar manualmente a amostra, um “bolo” de solo, com dimensões superiores às do anel de adensamento, e então dar seguimento com o procedimento da amostragem seguindo-se a mesma metodologia dos ensaios com corpos de prova *indeformados*. Contudo, os materiais mais moles (AM.703-2,0 e AM.705-2,7), depois de amolgados, se transformaram em uma lama fluída, que impossibilitaram

a construção do bolo, sem a utilização de um molde e, conseqüentemente, tornaram inexecutível a moldagem seguindo-se tais procedimentos.

Até que um procedimento adequado para molde dos CP's amolgados fosse estabelecido, vários testes foram realizados. Na realização destes testes, trabalhou-se com o solo da primeira tentativa, que depois foi descartado devido a suspeita de perda de umidade. Notou-se que os solos das camadas superiores exibem características tixotrópicas. Pouco tempo após serem colocados dentro do anel rígido, que estava apoiado na bancada, os solos, que se apresentavam como lamas, mostravam algum ganho de resistência, retomando parte de sua estrutura inicial. Associa-se a essa característica (ao menos em parte), o êxito obtido durante os procedimentos de moldagem dos CP's.

Definido um novo procedimento, este foi adotado para moldagem de todos os CP's amolgados, inclusive para os casos (AM.703-7,4 e AM.705-10,7) onde a moldagem pelo processo descrito anteriormente fosse possível.

Nesse novo procedimento, as subamostras individualizadas do tubo amostrador, foram transferidas para dentro de um saco plástico onde eram completamente amolgadas por amassamento. A seguir, com a ajuda de uma espátula, a lama formada a partir do amolgamento dos solos mais moles, era transferida para dentro do anel rígido, que já se encontrava centralizado sobre a pedra porosa inferior. Essa transferência era feita até que todo o volume do anel rígido fosse preenchido. Nesta etapa, o peso do conjunto anel + pedra porosa inferior + papel filtro inferior já tinha sido medido. Então, este conjunto + solo, era pesado e transferido para bacia de ensaio para posterior encaixe da peça de fixação do anel. Para facilitar tal encaixe, a parte externa do anel era lubrificada com vaselina. Na figura 4.10, mostrou-se a seqüência de moldagem dos CP's amolgados.

O procedimento, que permitiu a moldagem dos CP's mais moles, também dificultou um pouco a moldagem dos CP's mais consistentes. Neste último caso, torna-se uma tarefa mais difícil garantir o completo preenchimento do anel sem a aplicação de esforços que podem adensar os solos (reduzir a umidade). É importante ressaltar que a dificuldade aumenta quando o percentual de areia dos

solos aumenta. Contudo, com relação à manutenção da umidade “natural”, este pode ainda assim ser considerado um procedimento mais adequado.



Figura 4.10 – Sequência de moldagem dos corpos de prova amolgados.

Corpos de Prova dos Ensaio do Tipo CRS

No item 4.2.1.2, foi feita a descrição do equipamento utilizado para realização dos ensaios CRS. Foi mencionado que um anel redutor, que permitia ensaiar CP's com 5 cm de diâmetro foi utilizado. Este anel, contudo, não possuía características geométricas adequadas ao processo de moldagem. Assim sendo, era necessário moldar os CP's em um anel rígido mais adequado e depois fazer a transferência entre anéis.

Este anel de transferência possuía o mesmo diâmetro que o anel redutor definitivo, contudo a altura (3 cm) do primeiro era maior. Da mesma forma que os anéis utilizados nos procedimentos convencionais, o de transferência possuía a ponta biselada, de forma a facilitar a sua inserção na amostra. Por outro lado, a inserção era dificultada devido à maior espessura da parede do mesmo. A “moldagem” do corpo de prova no anel de transferência seguia todos os passos do procedimento convencional.

A transferência dos CP's entre anéis era realizada cautelosamente para evitar a ocorrência de amolgamentos indesejados. O anel de transferência era colocado em cima do definitivo, com os vãos sobrepostos. Nesta posição e com a ajuda de um cilindro plástico do mesmo diâmetro dos CP's, exercia-se leve esforço sobre o solo que descia com facilidade. Este processo de transferência era facilitado pela lubrificação das paredes dos anéis. Depois que os CP's eram transferidos, ainda era necessário regularizar as sobras do topo e da base no anel definitivo (de menor altura). Nas figuras 4.11 (a) e (b), duas fotos mostram a transferência do CP entre anéis, assim como uma vista dos mesmos, e o anel redutor (definitivo) com o corpo de prova já encaixado na célula de adensamento.

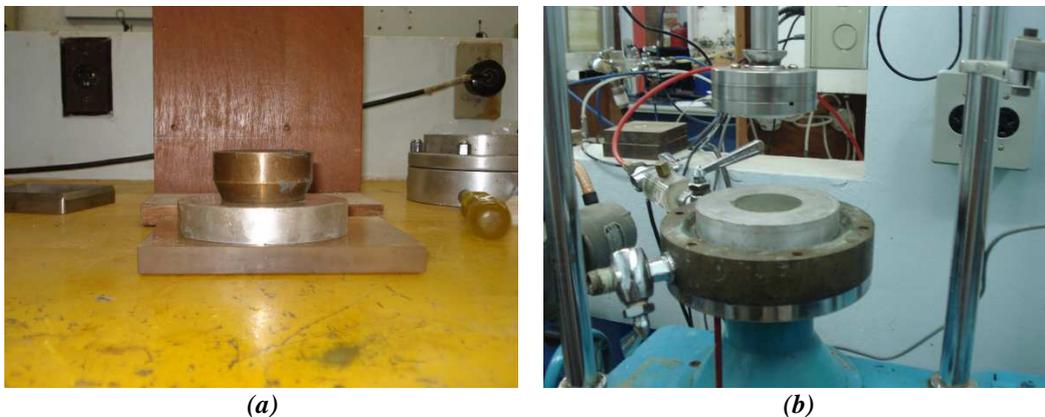


Figura 4.11 – Detalhes do procedimento de moldagem dos CP's – ensaios CRS.

4.2.3. Resultados dos Ensaio – Curvas de Compressão

Os resultados dos ensaios de adensamento oedométricos serão apresentados nos subitens seguintes. Neste caso, estão apresentadas apenas as curvas de compressão, e - $\log \sigma'_v$ [índice de vazios vs tensão efetiva vertical (esc. log)].

Foi relatado que os ensaios convencionais foram realizados com CP's moldados de todas as amostras, enquanto os ensaios especiais foram realizados com CP's moldados de apenas quatro amostras, que foram consideradas, depois de uma avaliação, como de boa qualidade. Os ensaios especiais do tipo CRS foram realizados em maior número (seis ensaios) – com CP's moldados de duas amostras a mais do que os outros ensaios especiais. Apenas por questões de organização, os resultados dos ensaios convencionais e especiais foram apresentados (neste item) continuamente, para então ser apresentada (no item

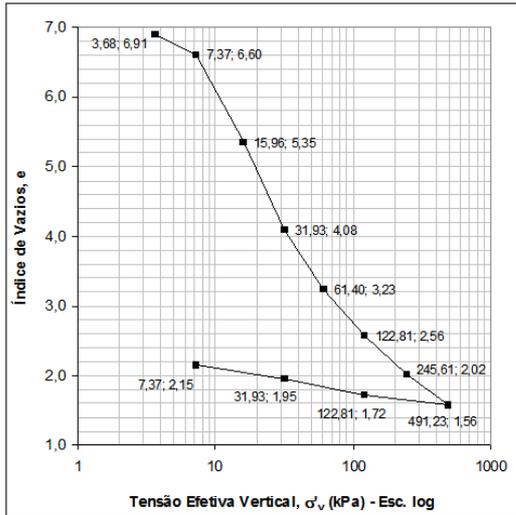
seguinte) a avaliação da qualidade dos corpos de prova e, conseqüentemente, das amostras, a partir da qual foram determinadas quais destas seriam utilizadas na realização dos ensaios especiais.

4.2.3.1.

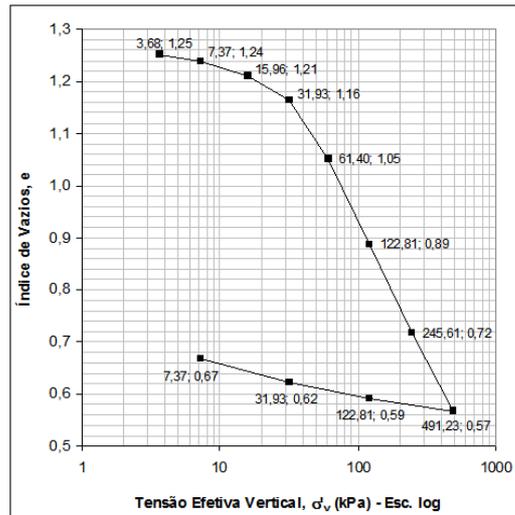
Ensaio de Carregamento Incremental - CP's Horizontais

Os resultados dos ensaios de adensamento convencionais, isto é, com carregamento incremental e com CP's moldados na direção horizontal, foram apresentados primeiramente neste item. Nas figuras 4.12 (a) até (f) e 4.13 (a) até (d), foram apresentados os resultados dos ensaios realizados com corpos de prova moldados das seis amostras coletadas na EMI-62, chamadas de AM.705, e das quatro coletadas na EMI-71, chamadas de AM.703, respectivamente. Os resultados estão apresentados por ordem de profundidade em que a amostra foi coletada, iniciando-se pelas mais superficiais.

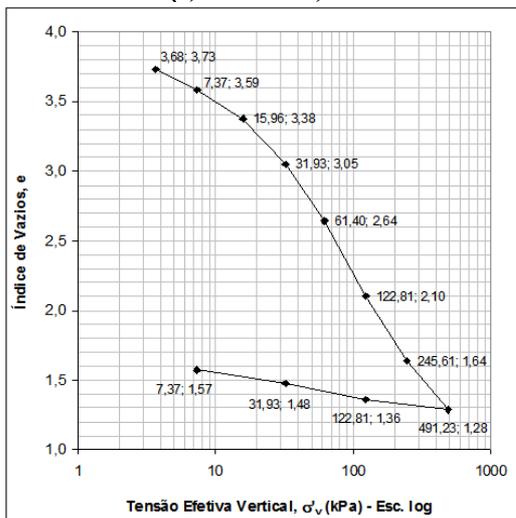
Verifica-se a ausência, no que se refere à forma, de um padrão nos resultados apresentados. No entanto, pode-se notar que: (1) as curvas de compressão apresentadas nas figuras 4.12 (a) e 4.13 (a) possuem aspectos semelhantes, isto é, a curva com declividade bastante acentuada a partir dos primeiros carregamentos, com leve concavidade para cima; (2) também possuem aspectos semelhantes, as curvas apresentadas nas figuras 4.12 (b), (d) e (f) e 4.134 (b), (c) e (d). Diferentemente das primeiras referenciadas, estas apresentam um trecho inicial (de recompressão) bem menos acentuado que o trecho final (de compressão virgem). Neste caso, nota-se ainda que as curvas apresentadas nas figuras 4.12 (b) e 4.13 (b) possuem o trecho inicial mais acentuado que o das outras curvas e o trecho final com concavidade menos evidente; (3) as curvas apresentadas nas figuras 4.12 (c) e (e) apresentam trecho de compressão arredondado, sendo difícil diferenciar dois trechos e (4) em todos os casos, o trecho de descarregamento da curva é aproximadamente linear.



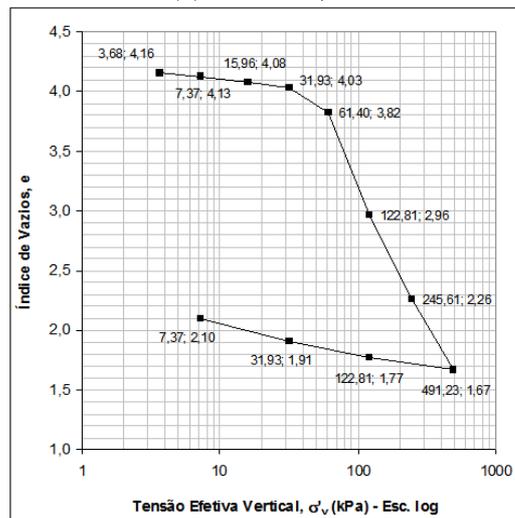
(a) AM.705-2,7m



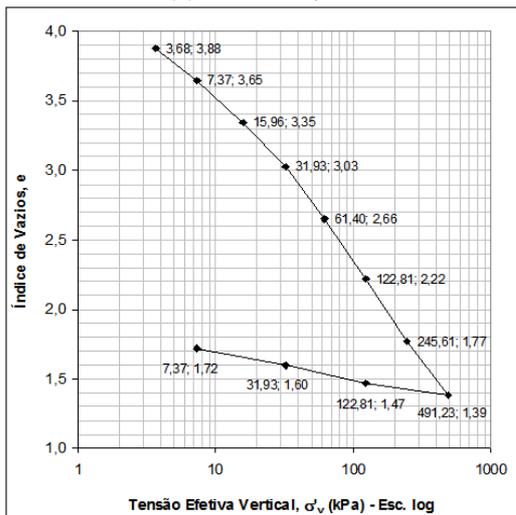
(b) AM.705-6,7m



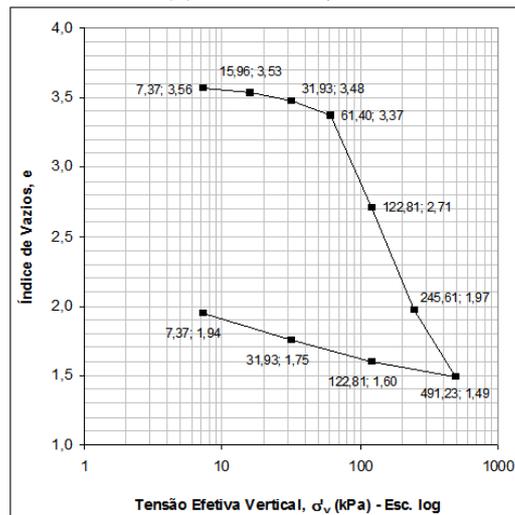
(c) AM.705-8,7m



(d) AM.705-10,7m



(e) AM.705-12,7m



(f) AM.705-14,7m

Figura 4.12 – Curvas de compressão dos ensaios incrementais realizados com CP's moldados na direção horizontal – EMI-62 (AM.705).

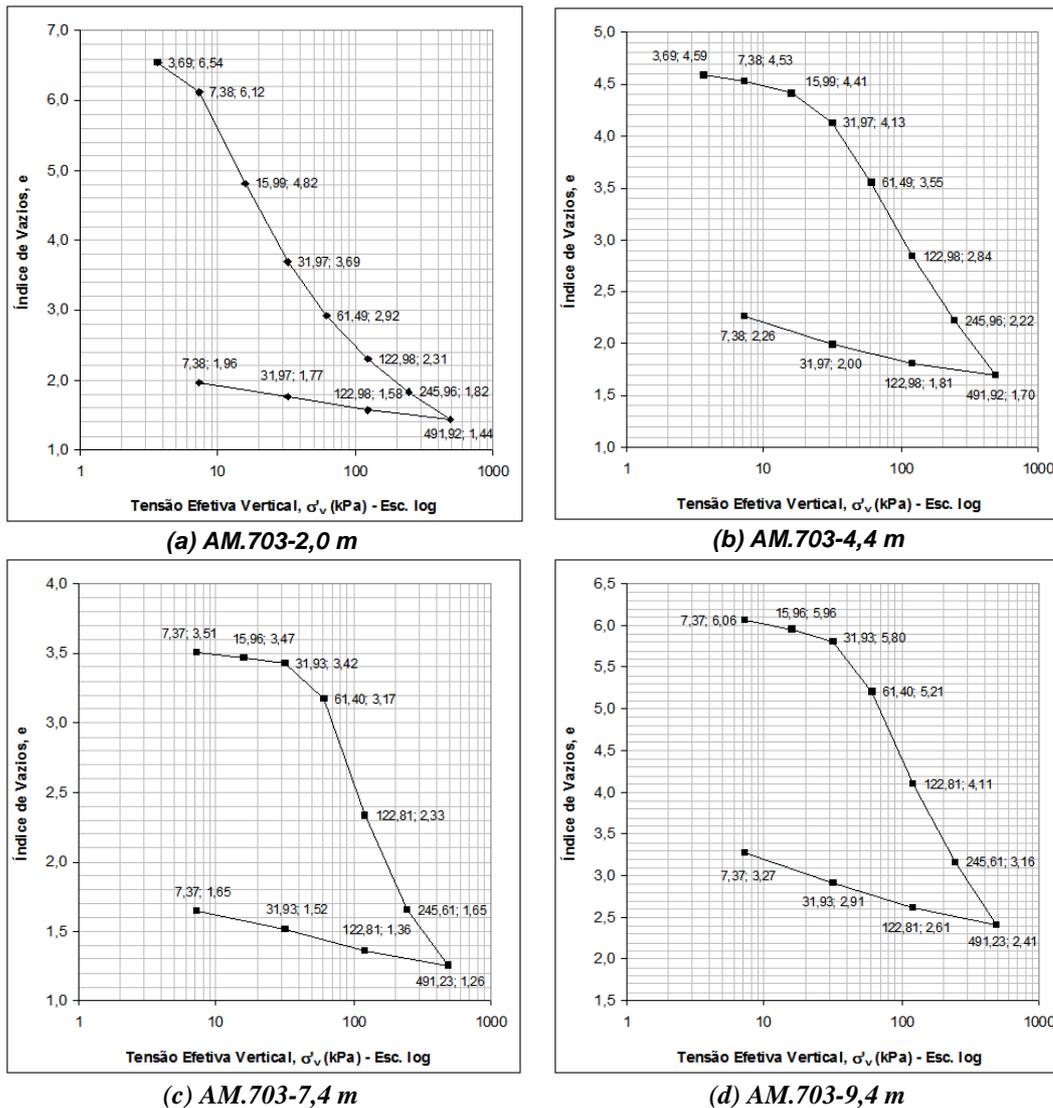


Figura 4.13 – Curvas de compressão dos ensaios incrementais realizados com CP's moldados na direção horizontal – EMI-71 (AM.703).

Os dados dos ensaios incrementais não são contínuos – carregamentos diários (24 horas) – e, neste caso, estão apresentadas, em todas as figuras, as coordenadas dos pontos de ensaio, isto é, a tensão efetiva vertical decorrente do carregamento e o índice de vazios final do estágio de carregamento, consecutivamente.

Um aspecto notório, nas curvas de compressão apresentadas, é a não linearidade, principalmente no trecho de compressão virgem. Este aspecto tem sido associado ao comportamento de solos carregados nos estados naturais – não amolgados [Burland (1990), Nagaraj *et al* (1990) e Martins e Lacerda (1994)]. Esta não linearidade implica em dificuldades extras nas análises dos resultados e será abordada no capítulo 7.

4.2.3.2.

Ensaio de Carregamento Incremental - CP's Verticais

Os resultados dos ensaios de adensamento incremental com corpos de prova verticais estão apresentados nas figuras 4.14 (a) até (d). Respectivamente, foram apresentados os resultados dos ensaios realizados com as amostras AM.703-2,0, AM.703-7,4, AM.705-2,7 e AM.705-10,7.

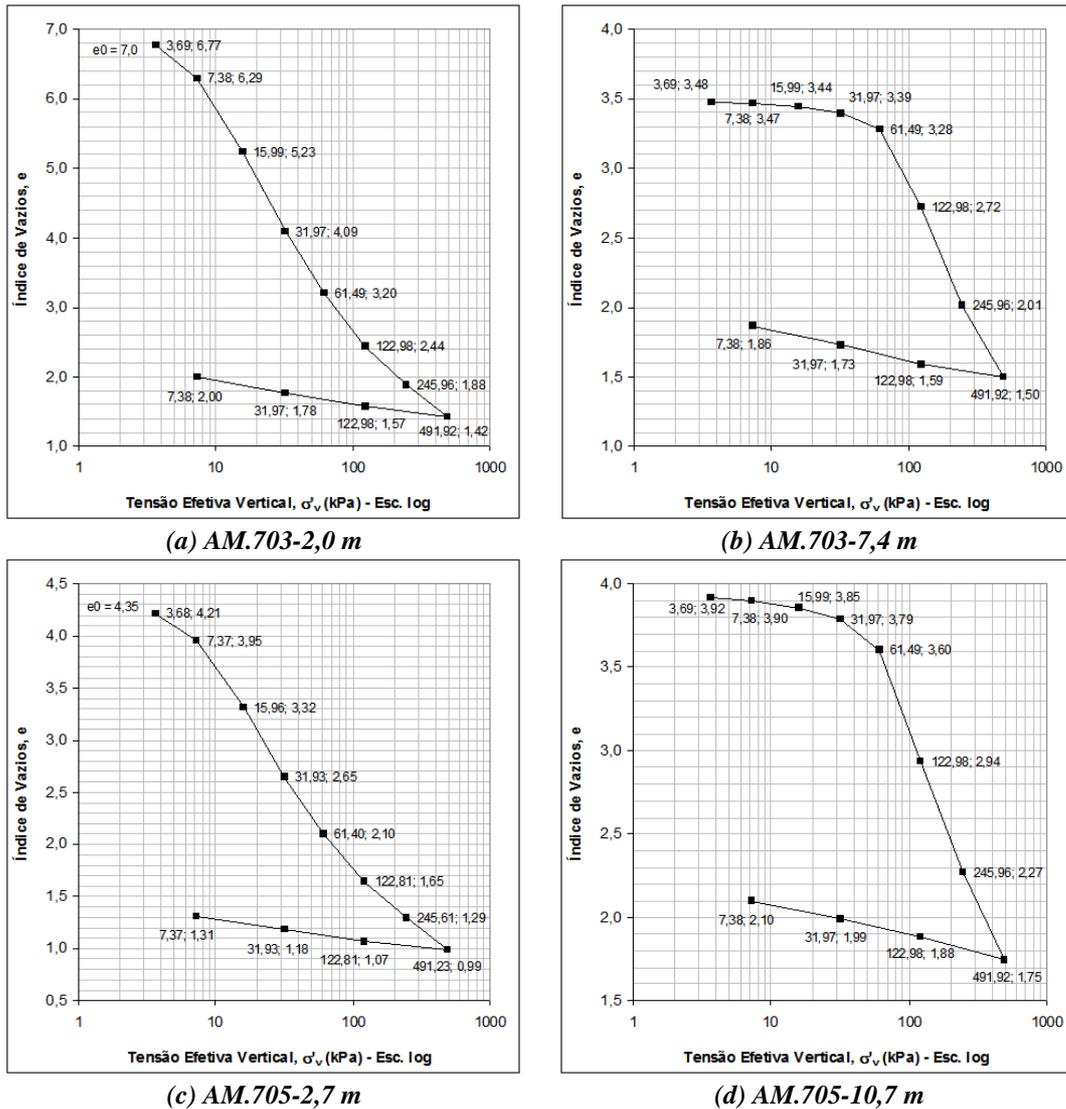


Figura 4.14 – Curvas de compressão dos ensaios incrementais realizados com CP's moldados na direção vertical.

Pode ser verificado que as curvas apresentadas nas figuras 4.14 (a) e (b) e nas figuras 4.14 (c) e (d) são similares àquelas apresentadas nas figuras 4.13 (a) e (c) e 4.12 (a) e (d), respectivamente. Pode ser notado que em nenhum caso as curvas de compressão se mostraram no padrão arredondado. O aspecto não linear

persistiu na compressão. Em todos os casos, os trechos de descompressão se mostraram com a forma linear.

4.2.3.3. Ensaio de Carregamento Incremental - CP's Amolgados

Os resultados dos ensaios de adensamento incremental com corpos de prova amolgados estão apresentados nas figuras 4.15 (a) a (d). Respectivamente, foram apresentados os resultados dos ensaios realizados com as amostras AM.703-2,0, AM.703-7,4, AM.705-2,7 e AM.705-10,7. Em todas as figuras podem ser vistos os índices de vazios iniciais do solo, e_0 .

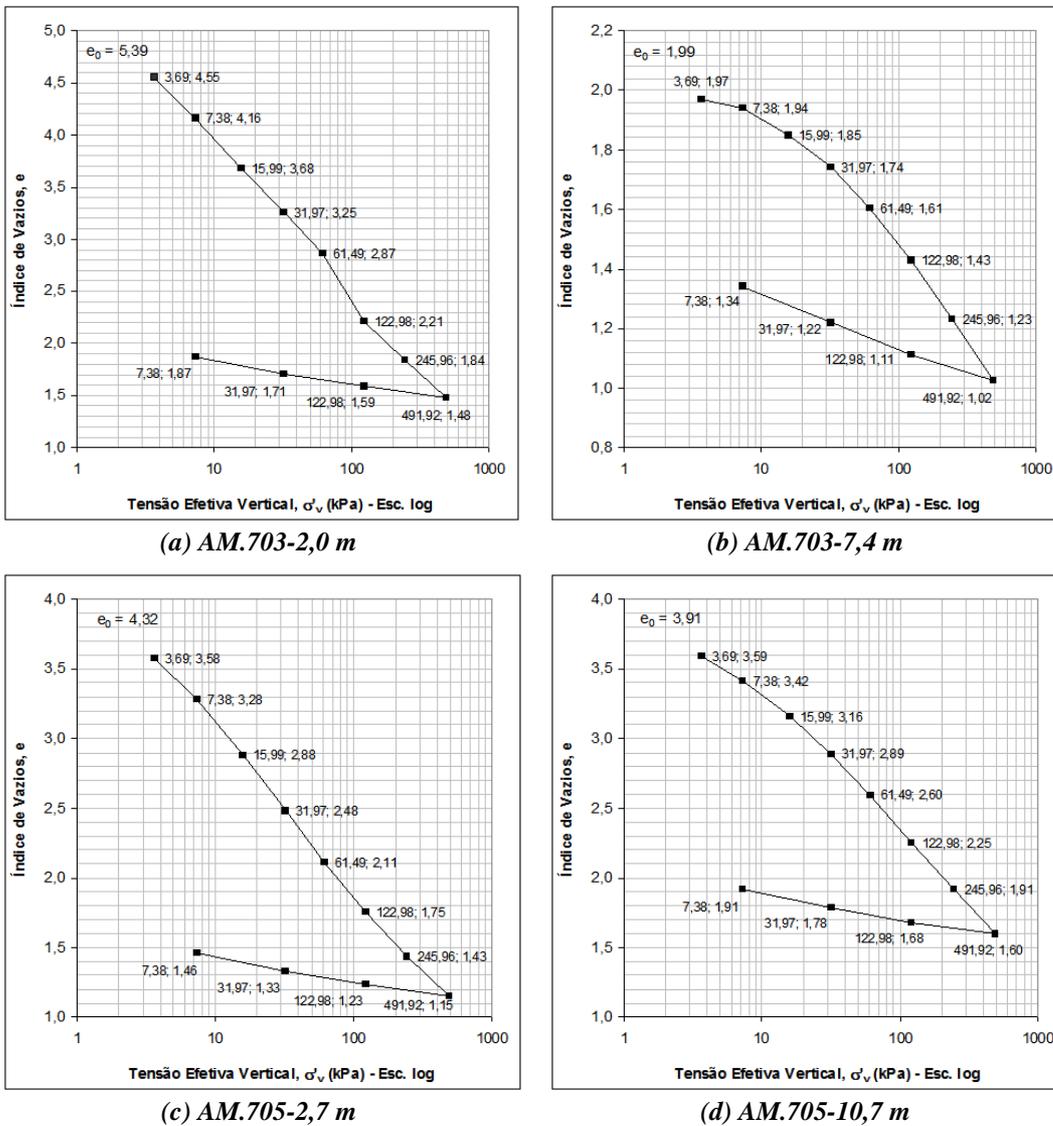


Figura 4.15 – Curvas de compressão dos ensaios incrementais realizados com CP's amolgados.

Os resultados mostram uma tendência de linearização das curvas desde os estágios iniciais de carregamento. Verifica-se, contudo, que as curvas apresentadas nas figuras 4.15 (b) a (d) mostraram uma concavidade para baixo no trecho de compressão.

Em relação aos resultados apresentados nas figuras 4.13 (c) e 4.14 (b), relativos aos solos na condição indeformada, foi verificada na figura 4.15 (b) uma brusca redução do índice de vazios inicial dos solos da AM.703-7,4.

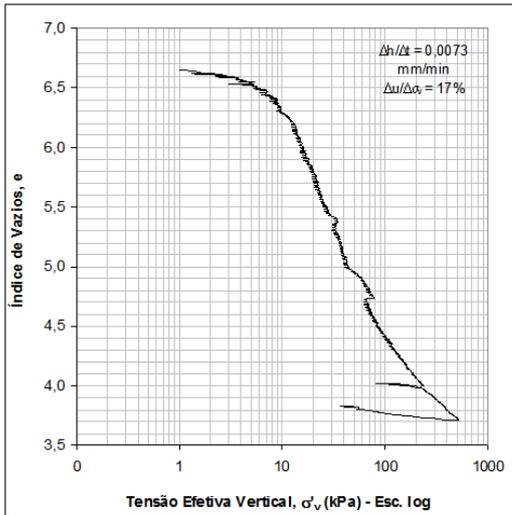
4.2.3.4. Ensaio do Tipo CRS - CP's Horizontais

Os resultados dos ensaios de adensamento do tipo CRS, realizados com corpos de prova moldados na direção horizontal, foram apresentados nas figuras 4.16 (a) até (e). Respectivamente, estão apresentados os resultados dos ensaios realizados com as amostras AM.705-2,7, AM.705-10,7, AM.703-2,0, AM.703-4,4, AM.703-7,4 e AM.703-9,4.

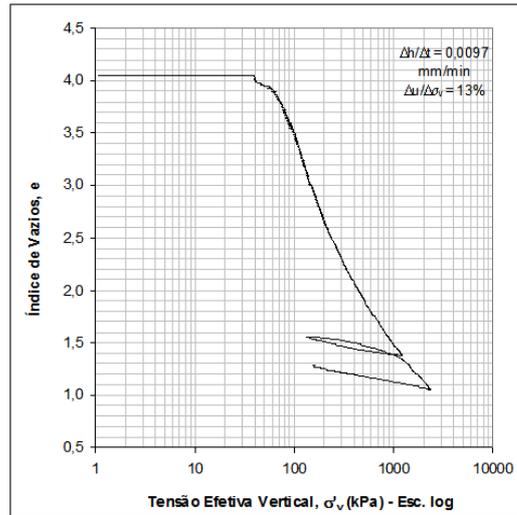
As curvas, de uma forma geral, se mostraram semelhantes às aquelas referentes aos ensaios convencionais, com amostras correspondentes e corpos de prova moldados na mesma direção. Na parte superior direita das figuras, os valores máximos da relação u_b/σ_v , medida durante a realização de cada ensaio, assim como as velocidades impostas nos ensaios, estão mostrados.

4.2.4. Avaliação da Qualidade dos Corpos de Prova

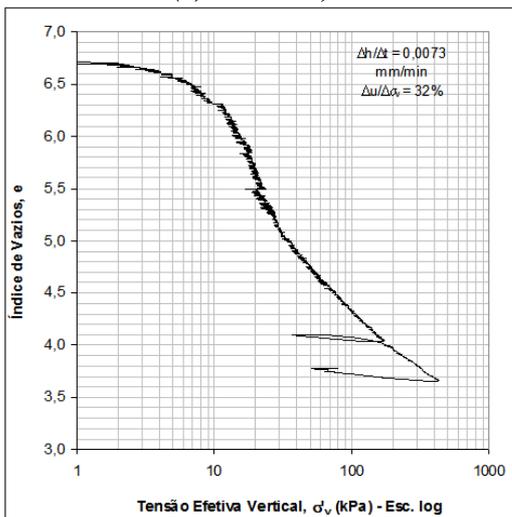
A obtenção de parâmetros confiáveis que definem as características mecânicas e hidráulicas de um solo no laboratório depende da qualidade dos corpos de prova moldados no laboratório. Vale ressaltar que corpos de prova de boa qualidade são necessariamente moldados de amostras de boa qualidade. Procedimentos especiais, desde a fase de coleta da amostra no campo até a fase de moldagem dos corpos de prova no laboratório, devem ser adotados para se atingir o objetivo de obter corpos de prova de boa qualidade (ver itens 3.4.2 e 4.2.2).



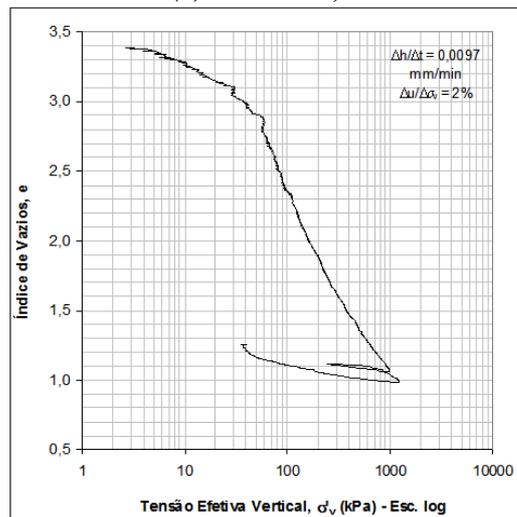
(a) AM.705-2,7



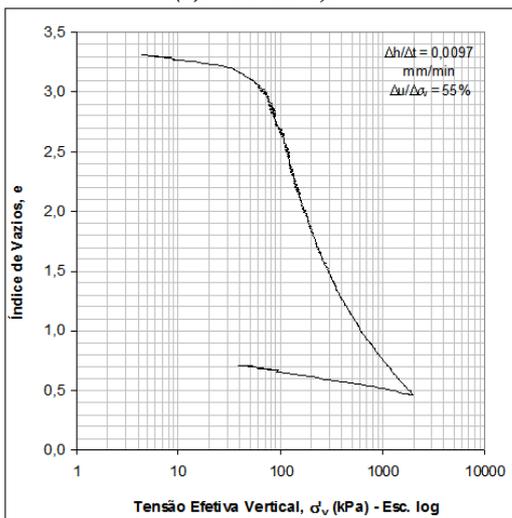
(b) AM.705-10,7



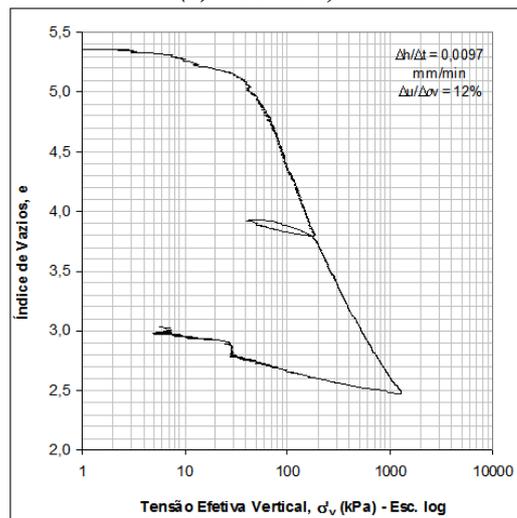
(c) AM.703-2,0



(d) AM.703-4,4



(e) AM.703-7,4



(f) AM.703-9,4

Figura 4.16 – Curvas de compressão dos ensaios do tipo CRS realizados com CP's amolgados.

Contudo, não só levando em consideração o caráter científico deste trabalho, mas principalmente o conhecimento do tipo de solo (ex.: muito mole, com percentual significativo de areia) com que se está trabalhando, a análise da qualidade dos corpos de prova indeformados assume especial importância. Para tal finalidade, as curvas de compressão obtidas nos ensaios de adensamento constituem, além de um dos mais importantes resultados dos ensaios, um meio capaz de fornecer informação da qualidade dos corpos de prova ensaiados.

Com o objetivo então de comparar o comportamento exibido pelos solos e identificar os desvios que podem ser atribuídos a possíveis fontes de amolgamento, estão apresentadas, na figura 4.17, todas as curvas de compressão, resultantes dos ensaios de adensamento convencionais.

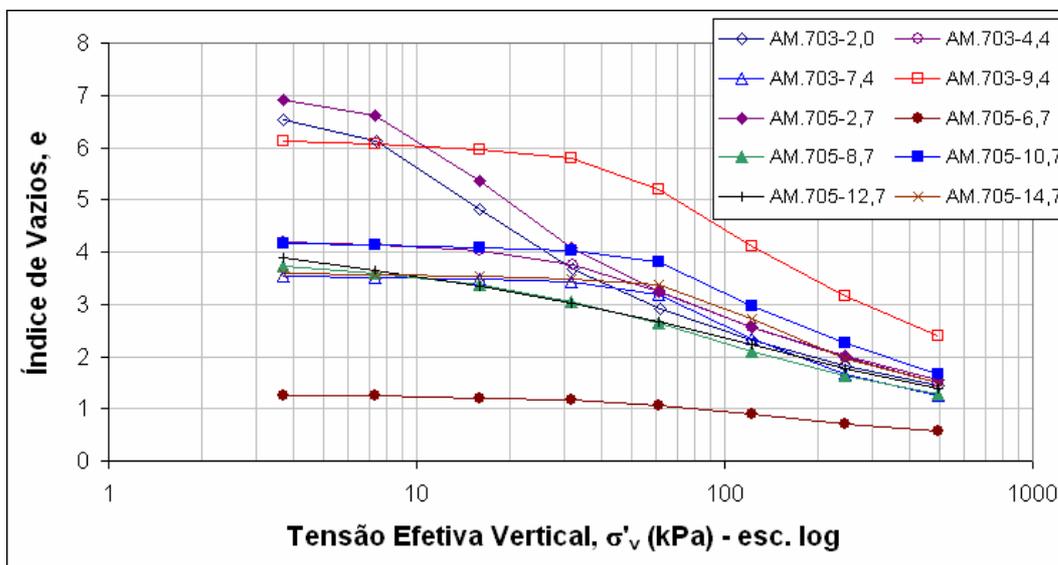


Figura 4.17 – Curvas de compressão dos ensaios de adensamento convencionais.

A partir da análise da figura 4.17, dois aspectos, que poderiam revelar alguma relação com possíveis amolgamentos dos corpos de prova, devem ser avaliados. O primeiro deles refere-se à notória variação do índice de vazios inicial apresentado. Este, contudo, parece não ser fruto de possíveis amolgamentos dos corpos de prova. Essa variabilidade pode ser justificada pela variabilidade dos solos moles presentes no depósito, que é confirmada pela variabilidade dos teores de umidade verificada no laboratório (figura 4.1). O segundo deles refere-se à declividade dos tramos de recompressão e compressão virgem das curvas. Neste caso, características relativas a amostras amolgadas não foram observadas na

maior parte das curvas. Com exceção das curvas referentes às amostras AM.705-8,7 e 12,7; todas as outras mostraram reduzida deformação no tramo inicial de recompressão e um alto valor para a relação entre os índices de compressão e de recompressão (a quantificação destes índices será feita no capítulo 7).

Chama-se a atenção, contudo, para as curvas que se referem às amostras AM.703-2.0 e AM.705-2,7, que não apresentaram o tramo inicial de recompressão bem definido, aspecto que é comum quando os solos estão na condição amolgada. Nestes casos, o primeiro carregamento aplicado ao corpo de prova (3,7 kPa) foi da mesma ordem de grandeza das tensões efetivas de campo e de pré-adensamento, fato que justifica o comportamento apresentado. Verifica-se também a não linearidade das curvas, comuns em solos não amolgados.

Dentre outras grandezas que são influenciadas pela qualidade dos corpos de prova, as medidas de $\Delta e/e_0$ ou ε_v , avaliadas no ensaio de adensamento, para o nível de tensão efetiva vertical de campo, são boas para se quantificar esta qualidade (Andersen e Kolstad, 1979).

O critério proposto por Lunne *et al* (1997), que é considerado muito rigoroso para alguns solos comumente encontrados no país (Coutinho *et al*, 2002), foi adotado para classificar os corpos de prova ensaiados neste trabalho. Na tabela 4.3, são mostradas as classificações dos corpos de prova utilizados nos ensaios convencionais. Pode-se verificar que 7 das 10 curvas, apresentadas na figura 4.17, são referentes a corpos de prova que se enquadram na classe superior de qualidade - *muito bom a excelente*. Os corpos de prova moldados das AM.705- 8,7 e 12,7 se enquadram na classe de qualidade muito ruim, enquanto que aquele moldado da AM.705 - 6,7 se enquadra na classe *moderado a bom*. A tabela 4.5 mostra os valores de $\Delta e/e_0$ determinados em cada ensaio, para os níveis de tensões estimados para σ'_{v0} . A avaliação da qualidade dos corpos de prova pelo critério proposto por Coutinho *et al* (2002) também foi realizada e foram obtidos resultados similares aos primeiros (tabela 4.5).

É importante notar que, quando os valores de $\Delta e/e_0$ se mostraram próximos aos limites entre classes, a qualidade dos corpos de prova foi considerada como sendo do nível superior (melhor qualidade), sendo essa postura justificada no fato

de os índices $\Delta e/e_0$ terem sido obtidos a partir dos resultados de ensaios de adensamento convencionais – IL^{24} .

No que se refere à variabilidade do índice de vazios inicial, foi mencionado que este é provavelmente decorrente da variação do teor de umidade natural do solo *in-situ*. Além do mais, foi relatado que o processo de vedação dos tubos amostradores foi cuidadosamente executado e que verificações semanais foram realizadas. Contudo, tem-se que admitir a possibilidade de terem ocorrido perdas de umidade ao longo dos seis meses de espera para início da execução dos ensaios e, também, dos mais seis meses até a execução do último ensaio. Assim sendo, uma avaliação mais criteriosa do teor de umidade foi realizada, de forma a se assegurar a qualidade dos corpos de prova no que se refere à preservação das condições de campo.

Tabela 4.3 – Avaliação da qualidade das amostras.

Amostra	$\Delta e/e_0$	Avaliação da Qualidade dos Corpos de Prova	
		Lunne <i>et al</i> (1997)	Coutinho <i>et al</i> (2002)
703 – 2,0	< 0,04	Muito Bom-Excelente	Muito Bom-Excelente
703 – 4,4	0,022	Muito Bom-Excelente	Muito Bom-Excelente
703 – 7,4	0,027	Muito Bom-Excelente	Muito Bom-Excelente
703 – 9,4	0,041	Muito Bom-Excelente	Muito Bom-Excelente
705 – 2,7	< 0,04	Muito Bom-Excelente	Muito Bom-Excelente
705 – 6,7	0,056	Moderado-Bom	Regular
705 – 8,7	0,17	Muito Ruim	Muito Pobre
705 – 10,7	0,04	Muito Bom-Excelente	Muito Bom-Excelente
705 – 12,7	0,28	Muito Ruim	Muito Pobre
705 – 14,7	0,036	Muito Bom-Excelente	Muito Bom-Excelente

Nas figuras 4.18 (a) até (g), mostram-se então os diversos teores de umidade determinados no laboratório. Os resultados foram apresentados apenas para os locais onde foram coletadas as amostras indeformadas consideradas de boa qualidade. As primeiras colunas dos gráficos são referentes aos teores de umidade determinados com o solo das amostras deformadas (1ª etapa de ensaios). As outras colunas se referem às determinações feitas na época da moldagem dos corpos de

prova (2ª etapa de ensaios). As datas em que foram realizadas as determinações foram apresentadas em cada coluna.

O curto (dias) espaço de tempo entre a extração das amostras deformadas e a realização dos ensaios no laboratório (1ª etapa) e a apropriada conservação das umidades naturais destas amostras durante este espaço de tempo permitem-se considerar insignificantes as perdas por secagem das amostras e, assim sendo, considerar os valores referentes às primeiras colunas representativos da umidade de campo.

Então, avaliando os valores referentes às colunas seguintes de cada figura, cujas umidades foram determinadas durante a moldagem do 1º corpo de prova moldado de cada amostra *indeformada*, é possível concluir que, no período (mínimo de seis meses) de armazenagem, entre a coleta da amostra *indeformada* e o início dos ensaios, não houve perdas significativas de umidade.

No período posterior, referente ao tempo (cerca de seis meses) de execução de todos os ensaios, o mesmo poderia ser concluído, caso as amostras AM.703-2,0 e AM.705-14,7 não apresentassem perdas aparentes significativas de umidade após a realização do penúltimo ensaio.

A variação que se observa (marca vermelha) – às vezes para cima e às vezes para baixo do valor de referência (campo) –, em relação às primeiras colunas das figuras, parece refletir, com poucas exceções, a variação natural da umidade dos solos no campo.

Com base nas análises realizadas, é possível afirmar que, tanto no que se refere à preservação da estrutura do solo, mostrada pela forma da curva de compressão, como no que se refere à preservação da umidade (condição de campo), medida diretamente no momento da moldagem dos corpos de prova, as amostras *indeformadas* se mostraram de boa qualidade e os procedimentos de condução, armazenagem destas amostras e moldagem dos corpos de prova, não afetaram a boa qualidade das mesmas.

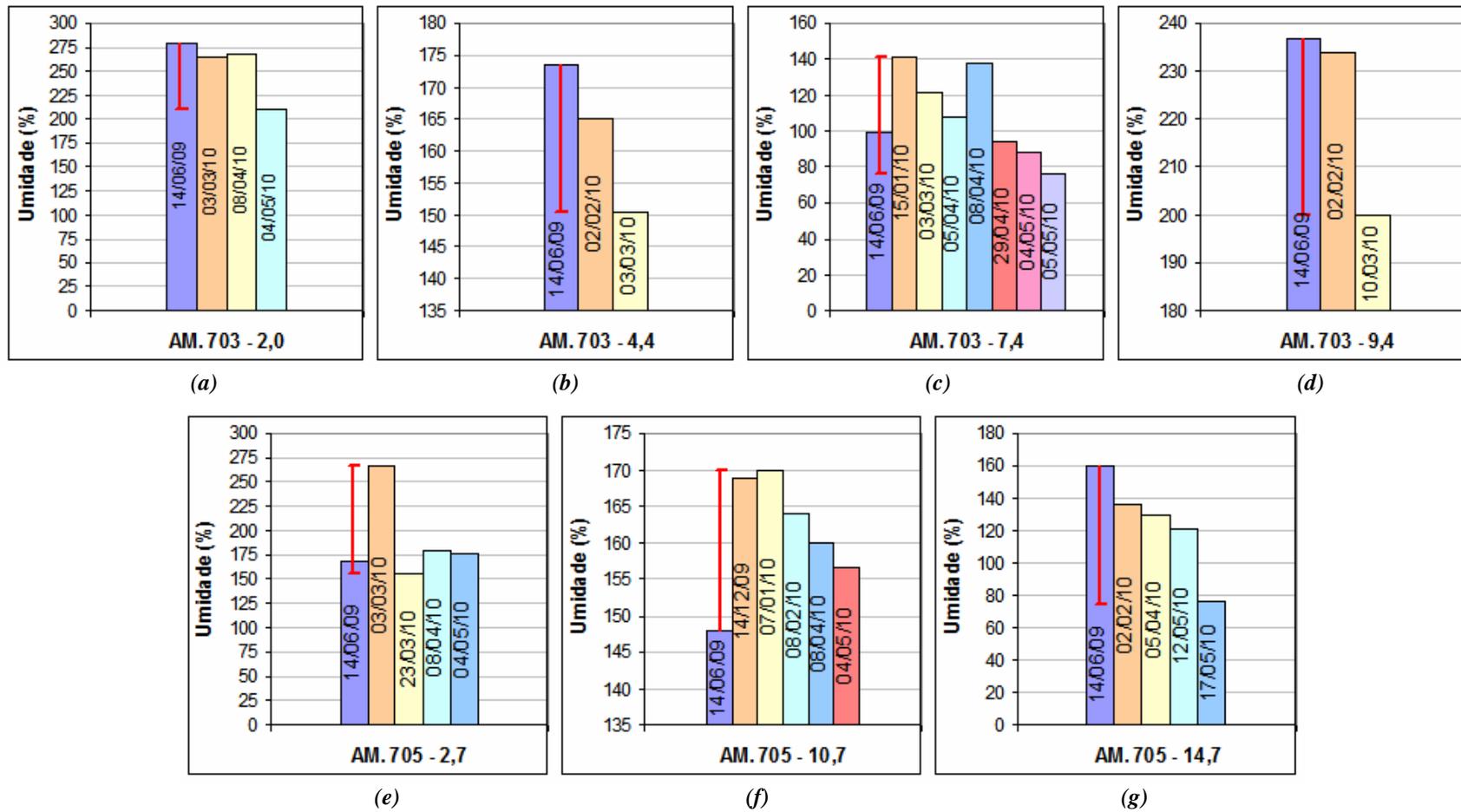


Figura 4.18 – Teores de umidade dos solos das amostras deformadas e indeformadas medidos ao longo do tempo.

O número (7 em 10) relativamente alto de ensaios realizados com de corpos de prova de boa qualidade, com distribuição adequada ao longo do perfil de solos muito moles, permite considerar (capítulo 7) apenas os resultados dos mesmos na determinação das propriedades mecânicas e hidráulicas e na análise do comportamento dos solos muito moles do depósito em estudo.

É importante salientar que a qualidade dos corpos de prova, no que se refere à estrutura do solo, não foi analisada para os ensaios realizados com CP's moldados na direção vertical, pois, neste caso, a determinação de σ'_{h0} depende da improvável determinação preliminar de k_0 , tornando a avaliação, pelo menos, mais complicada. Neste caso, é possível afirmar que as formas das curvas referentes a esses ensaios, em comparação com aquelas dos ensaios convencionais, indicam a boa qualidade dos CP's em questão.

Quanto aos corpos de prova dos ensaios do tipo CRS, poderá ser visto adiante que eles possuem qualidades iguais ou superiores a dos corpos de prova dos ensaios convencionais. Neste caso, será visto que as curvas resultantes destes ensaios se mantiveram de uma forma geral acima das curvas resultantes dos ensaios convencionais (de boa qualidade), fato este que permite se tirar tal conclusão. É importante mencionar que o termo “*qualidade superior*” foi usado devido às menores deformações ocorridas no ensaio do tipo CRS, considerando mesmos níveis de tensões (ex.: σ'_{v0}), contudo estas menores deformações devem ser atribuídas também ao tempo de aplicação do carregamento (inerente a cada tipo de ensaio) e não apenas à qualidade do corpo de prova.

No que se refere aos corpos de prova intencionalmente amolgados, não tem sentido fazer uma avaliação de qualidade. Este tipo de corpo de prova representa um limite inferior de qualidade, isto é, caso se faça uma amostragem sem tomar qualquer cuidado e, da mesma forma, se molde um corpo de prova desta amostra, este poderá, no limite, ser classificado como os corpos de prova amolgados. Ressalta-se que este é um resultado importante para estabelecimento de um critério de avaliação da qualidade de corpos de prova indeformados.