

6

Abatimento do tronco de cone desenvolvido

Este capítulo dedica-se a apresentação de uma descrição detalhada sobre cada componente do equipamento desenvolvido, associada as modificações implementadas para a solução dos problemas encontrados na confecção deste novo layout. Também são retratados o procedimento experimental desenvolvido e as limitações operacionais observadas.

6.1.

Componentes do equipamento

O equipamento desenvolvido no presente trabalho tomou como base as modificações propostas por Ferraris & De Larrard (1998), sendo formado, basicamente, por uma estrutura de sustentação, um tronco de cone, uma manta antiaderente e um dispositivo de monitoramento em tempo real de deslocamentos verticais, aproximando-se assim do conjunto proposto por Tanigawa *et al.* (1991).

6.1.1.

Estrutura de sustentação

A grande dispersão entre as medidas obtidas no ensaio de abatimento de tronco de cone tradicional são citadas por Day (1996) como um dos principais problemas associados a este equipamento, pois, conforme mencionado, respostas diferentes podem ser obtidas para uma mesma amostra em ensaios realizados por diferentes operadores e, inclusive, quando repetidos por um mesmo operador (Reis, 2008).

Esta falta de repetitividade, relacionada à operação manual, foi resolvida através da mecanização do processo de retirada do cone. Para tal, foi projetada uma estrutura de sustentação feita com perfis de alumínio com seção de 45x45mm, Figura 41. A referida estrutura foi ainda associada a um sistema de cabos e roldanas, responsável por suavizar o movimento vertical e ascendente de subida do cone.

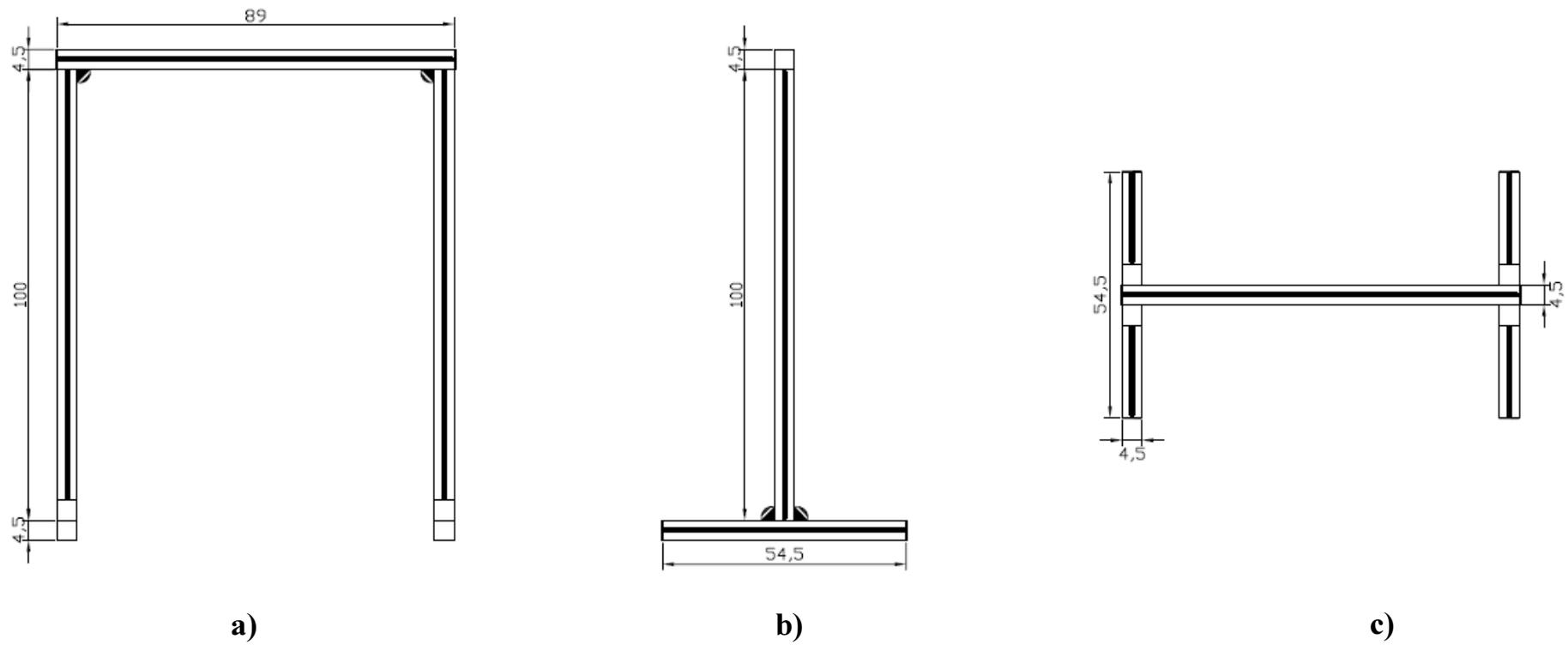


Figura 41 - Estrutura de sustentação projetada: a) vista frontal; b) vista lateral; c) vista superior (dimensões em cm)

6.1.2. Tronco de cone

O tronco de cone utilizado, fabricado em aço zincado, tem 30cm de altura, 20cm de diâmetro inferior e 10cm de diâmetro superior, seguindo os padrões estabelecidos na *NM 67/98 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*.

Para diminuir o atrito lateral com o solo, o tronco de cone recebeu um tratamento termoquímico de Xylan® preto, um revestimento de fluorpolímeros que confere antiaderência à superfície.

A imobilização do equipamento, promovida em sua versão tradicional pelo peso do operador sobre as aletas passou a ser proporcionada, na configuração modificada, por dois tarugos de latão com aproximadamente 12,5kg cada.

No entanto, a realização dos testes iniciais ainda indicou certa instabilidade no aparelho. Tal fato foi solucionado com o acréscimo de três anilhas de 0,5kg, totalizando assim 14kg em cada aleta. A Figura 42 ilustra as duas configurações desenvolvidas.

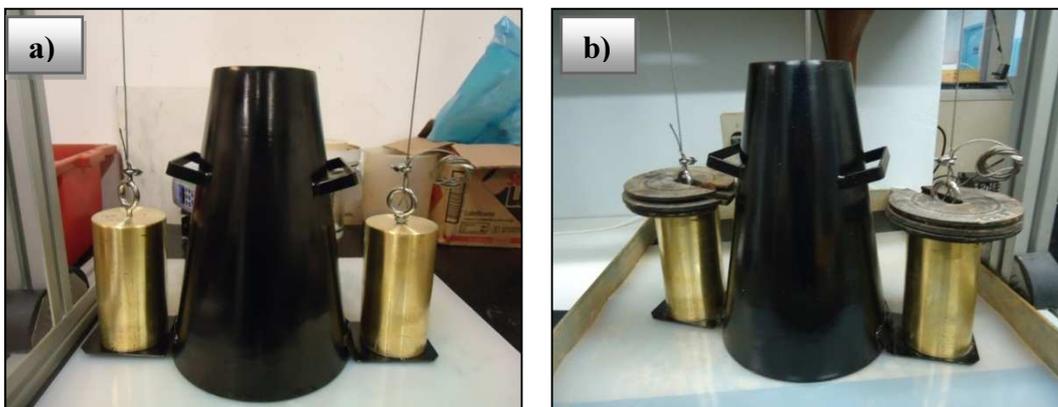


Figura 42 - Configurações do tronco de cone desenvolvidas para o ensaio modificado: a) apenas dois tarugos; b) tarugos mais anilhas de 0,5kg

6.1.3. Manta antiaderente

A superfície de espalhamento do material contido no interior do cone deveria ser lisa e auxiliar a vedação da lateral inferior do equipamento, evitando assim a saída de água. Por apresentar as características citadas, optou-se por utilizar uma manta de silicone de 50x50cm.

6.1.4. Dispositivo de monitoramento dos deslocamentos verticais

A determinação do dispositivo de monitoramento dos deslocamentos verticais foi o principal problema encontrado no desenvolvimento do equipamento, pois a taxa de velocidade de execução do ensaio, aproximadamente 30 cm/s, exigia uma instrumentação dinâmica de elevada rapidez e precisão.

De um modo geral, foram testadas três configurações: a primeira foi formada por um transdutor de deslocamento linear, um aquisitor de dados e um disco de latão; a segunda foi constituída por um acelerômetro e um Hyper Terminal®; a terceira foi semelhante à primeira, diferindo apenas pelo disco utilizado que passou a ter maiores dimensões, sendo feito em acrílico.

- Configuração 1: transdutor de deslocamento linear, aquisitor de dados e disco de latão

A configuração inicial foi desenvolvida para evitar os erros operacionais embutidos no tempo de resposta para acionamento do cronômetro. Assim, a haste central e o disco deslizante, presentes no equipamento proposto por Ferraris & De Larrard (1998), foram substituídos por um transdutor linear Gefran® LT-M 300, com 30cm de curso, precisão de 0,05%, repetitividade de 0,01mm e resolução infinita. Conforme ilustrado na Figura 43, a haste do transdutor foi acoplada a um disco de latão com 6cm de diâmetro no intuito de estabelecer o contato com o solo.



Figura 43 - Transdutor linear e disco de latão utilizados nesta configuração

Um transdutor para potenciômetro Technolog® FS200, com precisão de 0,2%, recebia os dados do transdutor linear, encaminhando-os para o sistema de aquisição de dados Novus MyPCLab® que, por sua vez, transferia as informações para o computador, armazenando um dado para cada 0,01s. A Figura 44 ilustra os dois equipamentos utilizados nesta configuração.



Figura 44 - Transdutor para potenciômetro, a esquerda, e sistema de aquisição de dados a direita

A execução de ensaios com o solo em condições de umidade acima do limite de liquidez envolvia variações de tempo muito rápidas, da ordem de 1 segundo. Como o transdutor utilizado não possuía a haste livre, exigindo uma força mínima de 2N para iniciar o deslocamento, o movimento não era acompanhado adequadamente, conforme ilustrado na Figura 45. Tal fato impossibilitou a utilização desta configuração, pois a velocidade medida referia-se, na verdade, ao deslocamento da haste do transdutor e não à massa de solo escoada.

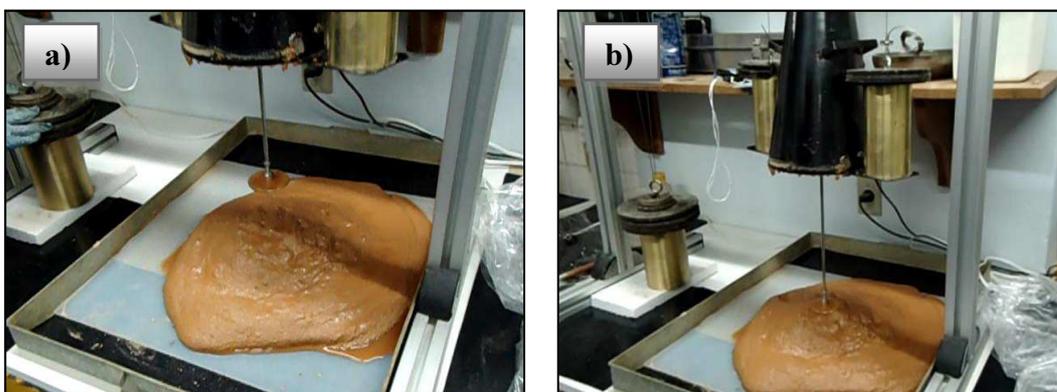


Figura 45- Dificuldade do transdutor para acompanhar o deslocamento do solo: a) a massa já teve seu movimento encerrado, mas o transdutor ainda continua a descer; b) apenas após alguns segundos o transdutor atinge a posição final da massa de solo

A princípio pensou-se em corrigir este problema através da colocação de pesos adicionais no disco utilizado para estabelecer o contato entre o solo e o transdutor, Figura 46. Embora alguns testes tenham sido realizados, tal opção foi descartada, pois estes pesos representariam uma força externa contribuindo para o aumento da velocidade de escoamento.



Figura 46 - Ensaio realizado com a colocação de um peso adicional no disco que faz contato solo/transdutor com a finalidade de aumentar a velocidade de deslocamento da haste

- Configuração 2: acelerômetro e Hyper Terminal®

Na segunda configuração, apresentada na Figura 47, a utilização de um acelerômetro Witilt® v.3, pesando aproximadamente 50g, eliminou a força externa gerada pela colocação de pesos no disco acoplado ao transdutor. Este instrumento funciona por Bluetooth® e tem uma frequência máxima de 135Hz, realizando, portanto, uma leitura a cada 0,0074 segundos.



Figura 47 - Acelerômetro utilizado na segunda configuração

Como as variações de tempo para a realização do ensaio são muito rápidas e o instrumento é sensível a variações ocorridas em relação à aceleração da gravidade, optou-se por utilizar a sua frequência máxima, obtendo assim a maior quantidade de dados possível.

No entanto, tal decisão implicou na inviabilização da utilização do Hyper Terminal® como sistema de armazenamento de dados, pois sua capacidade é limitada a aquisição de 500 dados, o que representa, para a frequência máxima, um tempo de 3,7 segundos, que embora suficiente para monitoramento exclusivo do deslocamento do tronco de cone, não supre o acompanhamento de todo o processo (deslocamento do operador para colocação do peso, execução do ensaio e finalização da aquisição), o que demandaria cerca de 15 segundos de leitura.

Como solução alternativa tentou-se utilizar o LabView®, um software de projetos gráficos e sistemas que faz aquisição de dados com maior rapidez. Porém, o acelerômetro não foi reconhecido pelo software e sua utilização foi inviabilizada.

- Configuração 3: transdutor de deslocamento linear, aquisitor de dados e disco de acrílico

A terceira configuração utilizou um transdutor de deslocamento linear com a mesma especificação apresentada anteriormente, porém com uma haste livre e acoplada a um disco de acrílico, detalhado na Figura 48.

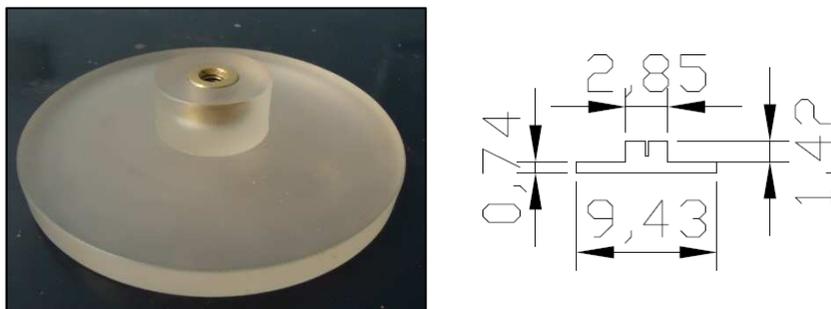
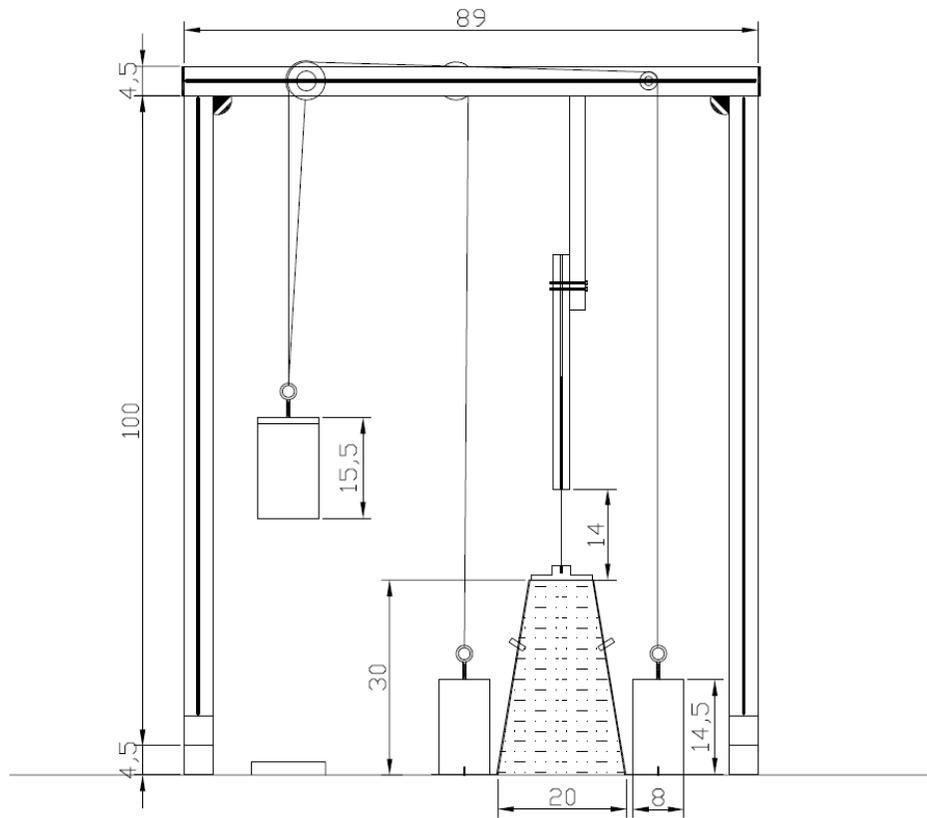


Figura 48 - Detalhamento do disco de acrílico utilizado (dimensões em cm)

A liberdade de deslocamento da haste associada a maior área de contato entre o disco e o solo resolveram os problemas encontrados na primeira concepção apresentada. Tais modificações foram suficientes para proporcionar o acompanhamento do movimento da massa de solo, fazendo desta, a configuração a ser utilizada nos ensaios desenvolvidos.

As Figuras 49 e 50 apresentam detalhes da configuração utilizada.

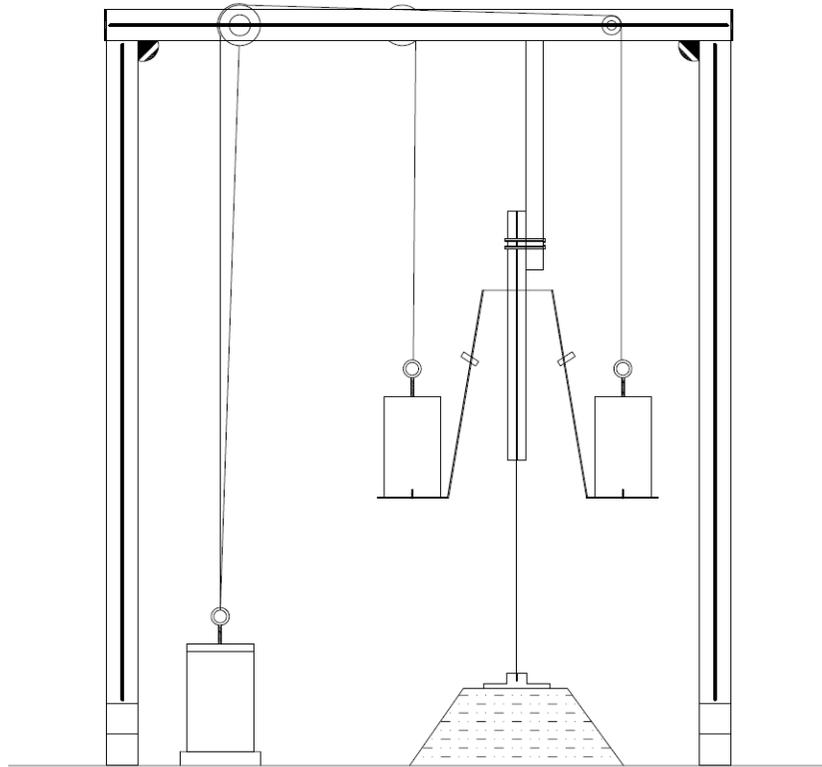


(a)



(b)

Figura 49 - Detalhe do equipamento desenvolvido antes da realização do ensaio: a) dimensões de projeto (unidades em cm); b) configuração real



(a)



(b)

Figura 50 - Detalhe do equipamento desenvolvido após a realização do ensaio: a) dimensões de projeto (unidades em cm); b) configuração real

6.2. Procedimento experimental

Antes da execução do ensaio, são necessários alguns procedimentos para preparar a amostra a ser utilizada. Inicialmente, esta deve ser seca em estufa a 60°C, de modo a preservar as características mineralógicas do solo, destorroada e passada na peneira #40. Ao todo devem ser separados aproximadamente 6kg do material passante.

Em seguida, deve-se definir os valores das umidades que serão analisadas e fazer um cálculo aproximado da quantidade de água que deve ser acrescida à massa de solo seco utilizada. Uma vez finalizadas essas operações preliminares deve-se seguir as etapas de execução listadas abaixo:

1) misturar, em equipamento adequado, durante 10 minutos, a massa de solo seco reservada com a quantidade de água calculada para o primeiro ponto do ensaio, Figura 51;



Figura 51 - Preparação da amostra: mistura água e solo

2) passar glicerina líquida ($C_3H_8O_3$) nas paredes do tronco de cone para reduzir o atrito entre o solo e as paredes internas do equipamento, Figura 52;



Figura 52 - Glicerina a ser utilizada nas paredes internas do tronco de cone

3) preencher o tronco de cone com o auxílio de uma concha, Figura 53;



Figura 53 - Preenchimento do tronco de cone

4) fazer o acabamento na superfície usando uma espátula, Figura 54;



Figura 54 - Acabamento da superfície superior do tronco de cone

5) encaixar o disco de acrílico na extremidade da haste do transdutor;

6) iniciar o sistema de aquisição de dados;

7) colocar o peso que levantará o tronco do cone verticalmente, Figura 55;



Figura 55 - Colocação do peso para ascensão do cone

8) uma vez estabilizado o abatimento, ou no máximo um minuto após a realização do ensaio, finalizar a aquisição de dados;

9) retirar eventual material aderido ao interior do cone e pesar o conjunto bandeja-solo para determinação da massa específica total do solo inserido no cone;

10) coletar material do centro e da lateral da massa escoada para verificar a umidade;



Figura 56 - Coleta de material para determinação da umidade

11) recolher o material, limpar o interior do cone e repetir os passos anteriores (2 a 10) mais duas vezes para verificar a repetitividade dos resultados obtidos;

12) para a análise de uma nova umidade deve-se recolocar o material na batedeira, acrescentar a quantidade de água correspondente, bater por 10 minutos e repetir os passos anteriormente apresentados (2 a 11).

6.3. Limitações do equipamento

Com o teor de umidade muito baixo, o solo se comporta mais como sólido. Por outro lado, quando o teor de umidade é muito alto, solo e água podem fluir como um líquido. Portanto, arbitrariamente, dependendo do teor de umidade, o comportamento do solo pode ser dividido em quatro estados básicos – sólido, semi-sólido, plástico e líquido.

Conforme ressaltado anteriormente, as corridas de massa, objetos de motivação dos estudos do presente trabalho, são caracterizadas por movimentos rápidos nos quais os materiais comportam-se como fluidos altamente viscosos (Guidicini & Nieble, 1984).

Portanto, os solos ensaiados devem estar no estado fluido, ou seja, acima do limite de liquidez. No entanto, nem todas as umidades podem ser ensaiadas, pois a configuração utilizada no equipamento desenvolvido impõe restrições ao intervalo de análise.

O espaço existente entre o transdutor e o tronco de cone, Figura 57, não é suficiente para promover o completo adensamento do material através de golpes com uma haste metálica. Assim, o limite inferior da umidade fica restrito a 1,3 vezes o limite de liquidez. Conforme observado na Figura 58, o material ensaiado com umidade inferior a este limite não preenche completamente o cone, sendo permeado por vazios que influenciam na velocidade de deslocamento medida.



Figura 57 - Espaço existente entre o transdutor e o tronco de cone

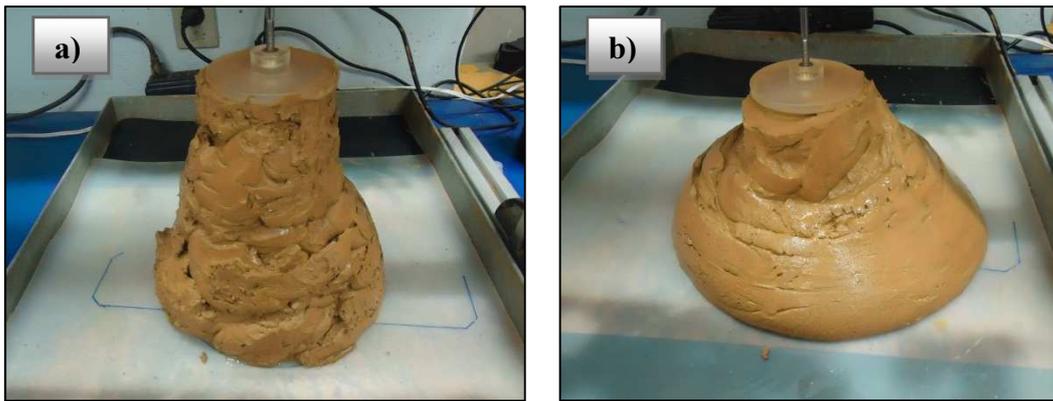


Figura 58 - Diferenças no preenchimento do tronco de cone: a) solo com umidade igual a 1,1 vezes o limite de liquidez; b) solo com umidade igual a 1,3 vezes o limite de liquidez

Outra limitação associada a este espaço está relacionada com o curso útil da haste do transdutor. Embora esta tenha 30cm, aproximadamente 6cm são inutilizados para viabilizar o preenchimento do tronco de cone, Figura 53. Desta forma, apenas as amostras com abatimento inferior a 24cm conseguem ter seu deslocamento completamente acompanhado, Figura 59.

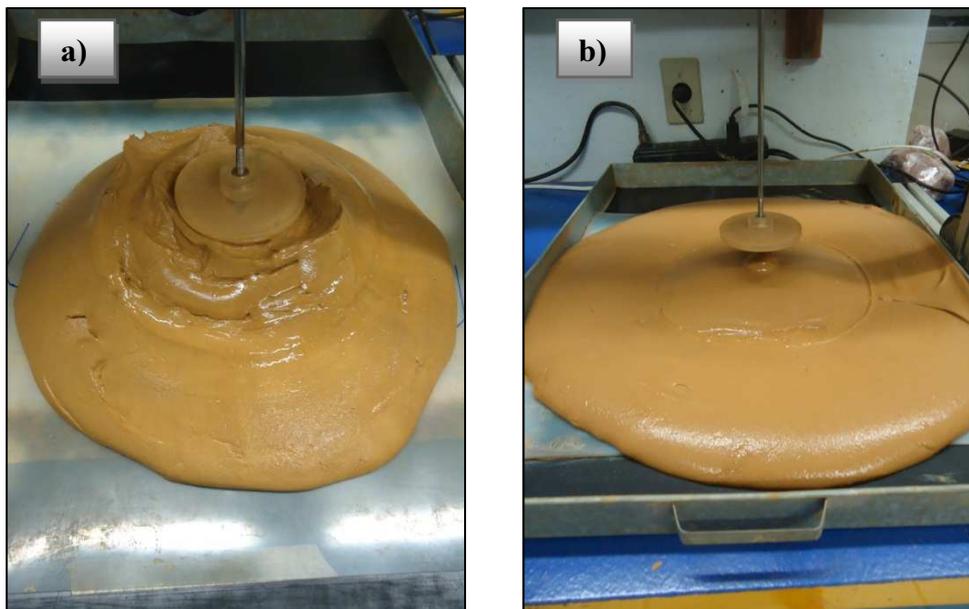


Figura 59 - Limitação associada ao espaço existente entre o transdutor e o tronco de cone: a) abatimento inferior a 24cm; b) abatimento superior a 24cm

O limite superior da umidade, por sua vez, foi determinado com base na velocidade máxima de deslocamento do transdutor linear utilizado. Após a realização de alguns testes, observou-se que umidades superiores a duas vezes o limite de liquidez do material apresentavam o mesmo comportamento na curva de deslocamento com o tempo, Figura 60, indicando assim que a velocidade máxima

da haste havia sido atingida e o solo passara a movimentar-se mais rápido que o transdutor.

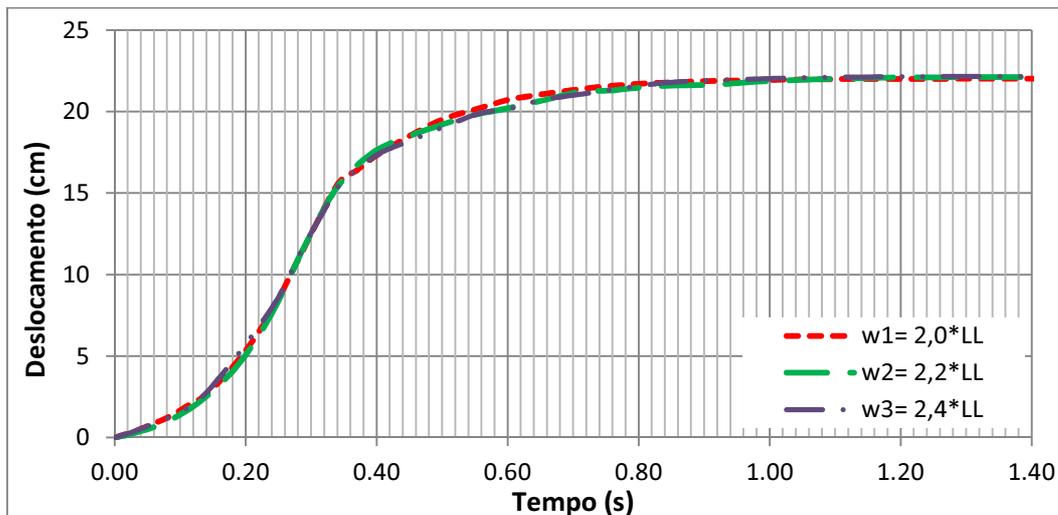


Figura 60 - Ensaio realizado com umidades superiores a duas vezes o limite de liquidez do material: velocidade máxima do transdutor utilizado

Assim, o limite funcional do equipamento desenvolvido fica restrito a uma faixa de valores definida por meio da razão entre a umidade do ensaio (w) e o limite de liquidez (LL), situada entre 1,3 e 2,0 (Equação 12).

$$1,3 < \frac{w}{LL} < 2,0 \quad (12)$$