



Figura 5.22 - Vista lateral do sistema de aplicação de carga horizontal suspenso e a caixa de cisalhamento posicionada para moldagem (CEDEX, Espanha).

Nos ensaios fez-se a leitura automatizada dos deslocamentos verticais de cada canto da placa de topo. Para isso, utilizou-se quatro extensômetros com deslocamento máximo de 400mm e precisão de 0,1mm.

Os corpos de prova foram moldados em cinco camadas de 20cm de altura, com controle granulométrico do material em cada camada. Os corpos de prova fofos foram moldados lançando o material com altura máxima de queda de 10cm. Para a moldagem dos corpos de prova densos, os blocos foram inicialmente acomodados e encaixados através de ajuste manual. Posteriormente, utilizou-se um compactador dinâmico (Figura 5.23) para aumentar o imbricamento entre as partículas e garantir a densidade desejada (muito denso, ou seja, $D_r = 85\%$).

Um outro equipamento de cisalhamento direto com menores dimensões foi também utilizado nesta pesquisa (Figura 5.24). Este equipamento, do laboratório do CEDEX na Espanha (CIS₃₀), é capaz de ensaiar um corpo de prova de seção horizontal quadrada de 30cm de lado e 20cm de altura. O equipamento tem o mesmo princípio de funcionamento do equipamento de grandes dimensões CIS₁₀₀ anteriormente descrito.



Figura 5.23 - Densificação dos corpos de prova cúbicos com 1,00m de lado para ensaios de cisalhamento direto (CEDEX, Espanha).



Figura 5.24 - Vista do equipamento de cisalhamento direto CIS₃₀ (CEDEX, Espanha).

O carregamento vertical é executado através de um sistema hidráulico, capaz de aplicar uma tensão normal de até 800kPa no corpo de prova. A força cisalhante foi medida por um anel de carga com capacidade de 98kN (10t). Os deslocamentos verticais são medidos por três extensômetros na placa de topo.

A moldagem dos corpos de prova seguiu o mesmo procedimento descrito para os ensaios de compressão unidimensional, na câmara UNI₃₀ (item 5.6.2.2).

5.6.4.3 *Reaproveitamento de material, controle granulométrico e velocidade*

As séries de ensaios Pd26(1), Pf26(1), Pd26(2) e Pf26(2) foram executadas com velocidade de 0,75mm/min sem reaproveitamento do material ensaiado. Vale lembrar que cada série corresponde ao conjunto de ensaios executados em uma mesma amostra, cada ensaio com nível diferente de tensão s'_v inicial. Os ensaios Pd26(3) e Pf26(3), de velocidades iguais a 0,45mm/min (1% do deslocamento total por minuto), foram executados com reaproveitamento do material. No reaproveitamento utiliza-se o mesmo material em todos ensaios da série. A partir da comparação dos resultados dos ensaios, verificou-se que a velocidade do ensaio e o reaproveitamento do material não influenciam significativamente na resistência ao cisalhamento direto dos enrocamentos.

Nas séries de ensaios Pd26(1) e Pf26(1), fez-se o controle granulométrico dos corpos de prova para cada nível de tensão vertical. Já nas séries Pd26(2), Pf26(2), Pd26(3) e Pf26(3), este controle foi feito somente no início de cada série. Conclui-se que não é necessário o controle granulométrico após cada ensaio, mas sim, após cada série de ensaios.

Desta forma, nos ensaios de cisalhamento direto adotou-se uma velocidade de ensaio correspondente a 1% do deslocamento total por minuto (0,45mm/min no CIS₃₀ e 1,5 mm/min no CIS₁₀₀) com reaproveitamento da amostra e controle granulométrico no final de cada série de ensaios.

Da mesma forma que nos ensaios de compressão triaxial, a definição das velocidades de ensaios considerou o tempo mínimo necessário para operação dos equipamentos de ensaio.

5.7. Considerações finais

Este capítulo apresentou os ensaios propostos para a avaliação do comportamento geomecânico e de alterabilidade dos enrocamentos considerados. Foi ainda descrito o funcionamento dos equipamentos e os procedimentos dos ensaios. Mereceu destaque os equipamentos de grandes dimensões para ensaios em corpos de prova do maciço de enrocamento.

Vale lembrar ainda que este trabalho enfatiza a avaliação das modificações nas propriedades dos materiais devido à alteração da rocha de enrocamento. Isso é feito através da

avaliação da alterabilidade dos materiais de enrocamento. Para tal, é necessário a utilização de processos de alteração acelerada no laboratório. Assim, desenvolveu-se um equipamento soxhlet para alteração por lixiviação contínua de amostras de enrocamentos. O equipamento permite a alteração acelerada em amostras com cerca de 590N (\cong 60Kg) de material granular.

Os ensaios de caracterização da resistência e da deformabilidade do maciço de enrocamento constituem o objetivo principal do programa experimental da tese. A caracterização do maciço visa não somente a quantificação das propriedades de tais materiais, mas também, a avaliação das variações no comportamento devido às características intrínsecas do enrocamento (alteração, efeito de escala, estado de densidade, umidade, litologia da rocha e granulometria).

Considerando os tamanhos das partículas de enrocamento, a execução de ensaios em equipamentos de grandes dimensões pode representar de forma mais adequada o comportamento real de tais materiais. No entanto, os custos envolvidos na execução dos ensaios levam à determinação das propriedades dos maciços de enrocamento através de equipamentos de menor porte. No presente estudo, faz-se a avaliação do efeito de escala através dos ensaios de compressão unidimensional e de cisalhamento direto, em equipamentos de diferentes dimensões.

A quantificação das propriedades das partículas dos enrocamentos envolve ensaios normalizados e de uso corrente na prática da engenharia. No entanto, estes ensaios não fornecem necessariamente parâmetros que caracterizam o comportamento mecânico dos maciços de enrocamento. O objetivo deste trabalho não é discutir fundamentalmente a validade da utilização de tais parâmetros para a caracterização do enrocamento como maciço. Todavia, estes parâmetros podem ser bons indicadores da alterabilidade do material de enrocamento desde que exista variação dos seus valores entre a rocha intacta e a alterada.