

O tubo extrator do equipamento compõe-se de um material rígido (tubo de PVC-PBA rígido marrom) com diâmetro interno de 20,5cm, diâmetro externo de 25,0cm e altura de 100,0cm. É possível, ainda, adaptar complementos no tubo extrator para aumentar a altura.

Na confecção do fundo e da tampa do tubo extrator, foram utilizadas placas de acrílico com espessura de 12mm. A fim de evitar as deformações da tampa, devido à elevada temperatura do equipamento, colocou-se um anel de PVC-PBA rígido por cima desta (Figura 5.8b). Na tampa, existem três orifícios de 6cm de diâmetro, onde foram adaptadas juntas fêmeas de vidro para conexão dos condensadores (Figura 5.8c).

O sistema de condensação é formado por três tubos de vidro, com cerca de 40cm de comprimento cada um. O resfriamento em cada tubo condensador se dá por meio de água. O desabastecimento d'água de resfriamento pode provocar o superaquecimento do sistema e a evaporação da solução de lixiviação, com conseqüente quebra das peças de vidro. Assim, implantou-se um sistema de proteção com bóias magnéticas, desligando automaticamente as mantas elétricas, num eventual desabastecimento d'água de resfriamento (Figura 5.8d).

No fundo do equipamento, foram fixadas conexões de metal inoxidável para adaptar três saídas. Uma das saídas, com diâmetro interno  $f_{int} = 25,4\text{mm}$ , é vertical e serve para limpeza do tubo extrator (descarga de fundo). As duas outras saídas são horizontais e são conectadas a mangueiras de borracha com  $f_{int} = 12,7\text{mm}$ . Uma das mangueiras é ligada a uma coluna de vidro vertical com  $f_{int} = 10\text{mm}$ . A coluna de vidro funciona para o controle visual do nível da solução dentro do tubo extrator (Figura 5.8b). A outra mangueira é conectada a um tubo de plástico reforçado com  $f_{int} = 6,4\text{mm}$ , que serve de sifão (Figura 5.8e). A altura de sifonamento é ajustável, pode ser posicionada de 20 a 80cm do fundo do tubo extrator. O sifão desemboca em um trifurcador de metal inoxidável que retorna a água para os balões, por meio de mangueiras de borracha com  $f_{int} = 12,7\text{mm}$  (Figura 5.8f).

Uma estrutura metálica suporta o tubo extrator. Existem ainda suportes metálicos para as mangueiras. A fim de melhorar a eficiência do sistema foram colocados isolantes térmicos nas mangueiras condutoras de vapor, reduzindo a perda de calor.

Para a introdução no tubo extrator, a amostra deve ser dividida em quatro partes iguais. Cada parte é colocada dentro de um cesto de aço inoxidável com 20,4 cm de diâmetro e 25cm de altura. Os cestos são introduzidos dentro do tubo extrator formando uma coluna.

O equipamento foi ajustado para que nenhuma parcela da amostra fique permanentemente submersa.

## 5.5. Ensaio de caracterização das partículas e da rocha de enrocamento

### 5.5.1. Densidade específica e absorção das partículas

Estes ensaios foram executados separadamente para os seguintes diâmetros nominais: 4,8; 9,4; 12,7; 19,1; 25,4; 50,8; 76,2 e 101,6mm. A quantidade mínima de material em cada amostra foi de 250g ou 3 partículas. Uma parte dos ensaios foi executada no Laboratório de Geotecnia da PUC-Rio e o restante no Laboratório de Geotecnia do CEDEX, em Madri. Foram determinados, também, os valores de  $G_s$  dos basaltos da Pedreira e da Barragem pelo método do picnômetro. Neste caso utilizou-se partículas com 4,8mm de diâmetro nominal.

### 5.5.2. Coeficiente de forma

A Tabela 5.4 apresenta o número de ensaios realizados para determinações de coeficientes de forma  $C_f$ , definido por Marsal (1973a). Estas determinações foram executadas no Laboratório de Geotecnia do CEDEX, em Madri. A Equação 2.4 permite a determinação de  $C_f$ . Para tanto, procedeu-se à pesagem e à determinação da dimensão média das partículas. Na pesagem utilizou-se balança eletrônica com precisão de 0,01g. A dimensão média foi determinada pela média aritmética de dez diâmetros tomados aleatoriamente em cada partícula. Para tal foi empregado um paquímetro com precisão de 0,1mm.

Tabela 5.4 - Programa de ensaios de coeficiente de forma, carregamento pontual, fraturamento de partícula e esclerometria.

Material			$C_f$ (nº de partículas)	Número de ensaios				
Tipo	Origem	Alteração		Fraturamento de partícula		Carregamento pontual		Esclerometria
				seco	saturado	seco	saturado	
Basalto	Marimbondo	Campo (25 anos)	147	34	15	73	32	144
	Pedreira Rio Grande	Intacto (0 anos, 0 h de lixiviação)	168	33	14	70	34	168
		100 h de lixiviação	81	18	-	56	-	-
		240 h de lixiviação	81	18	-	54	-	-
		600 h de lixiviação	81	18	-	58	-	-
		1500 h de lixiviação	81	18	-	50	-	-
		3200 h de lixiviação	81	18	-	66	-	-
		100 ciclos de umidade	81	18	-	53	-	-
Granito	Serra da Mesa	São	54	18	-	40	-	-

### 5.5.3. Fraturamento de partícula

A Tabela 5.4 ilustra o número de ensaios de fraturamento de partícula. A execução do ensaio segue o procedimento recomendado por Marsal (1973a) e descrito no item 2.2.2.1. Os ensaios foram executadas no Laboratório de Geotecnia do CEDEX, em Madri.

Nos ensaios de fraturamento de partículas, fez-se inicialmente a determinação do coeficiente de forma das partículas. Posteriormente realizou-se a separação em grupos de três partículas, cuja seleção garantiu a maior semelhança do coeficiente de forma, peso e dimensão mínima. Foram executados ensaios em partículas secas em estufa a 100°C e saturadas por submersão, em água destilada, por um período de 24 horas.

A determinação do número de contatos das partículas com as placas inferior e superior, foi realizada através da introdução de uma folha de papel branco e uma de carbono entre cada placa e as partículas. Assim, a pressão dos contatos das partículas com as placas marca com carbono o papel branco, permitindo a identificação de cada contato. A Figura 5.9 mostra quatro folhas brancas marcadas pelos contatos das partículas após os ensaios de fraturamento.

### 5.5.4. Carregamento pontual

A Tabela 5.4 mostra o número de ensaios de carregamento pontual. Os ensaios foram executadas no Laboratório de Geotecnia do CEDEX, em Madri. Conforme as recomendações da norma, procurou-se utilizar partículas de forma aproximadamente prismática (comprimento  $l$  e seção transversal de altura  $d$  e largura  $w$ ). Destaca-se que antes de ensaiadas foi determinado o coeficiente de forma das partículas. O carregamento pontual foi aplicado na metade do comprimento e na metade da largura da partícula. Garantiu-se que, durante o ensaio, a direção do carregamento fosse perpendicular ao comprimento  $l$ . Também segundo a norma, foram desconsiderados os ensaios com ruptura fora da seção transversal da partícula.

O cálculo do diâmetro equivalente  $D_e$  das partículas foi feito segundo a expressão:

$$D_e = \sqrt{\frac{4 A_{st}}{P}} \quad (5.2)$$

onde  $A_{st}$  é a área da superfície de ruptura da partícula provocada pelo ensaio. A determinação de  $A_{st}$  foi feita através de programa de computador por processos gráficos, o que permitiu um precisão de 1mm<sup>2</sup>.

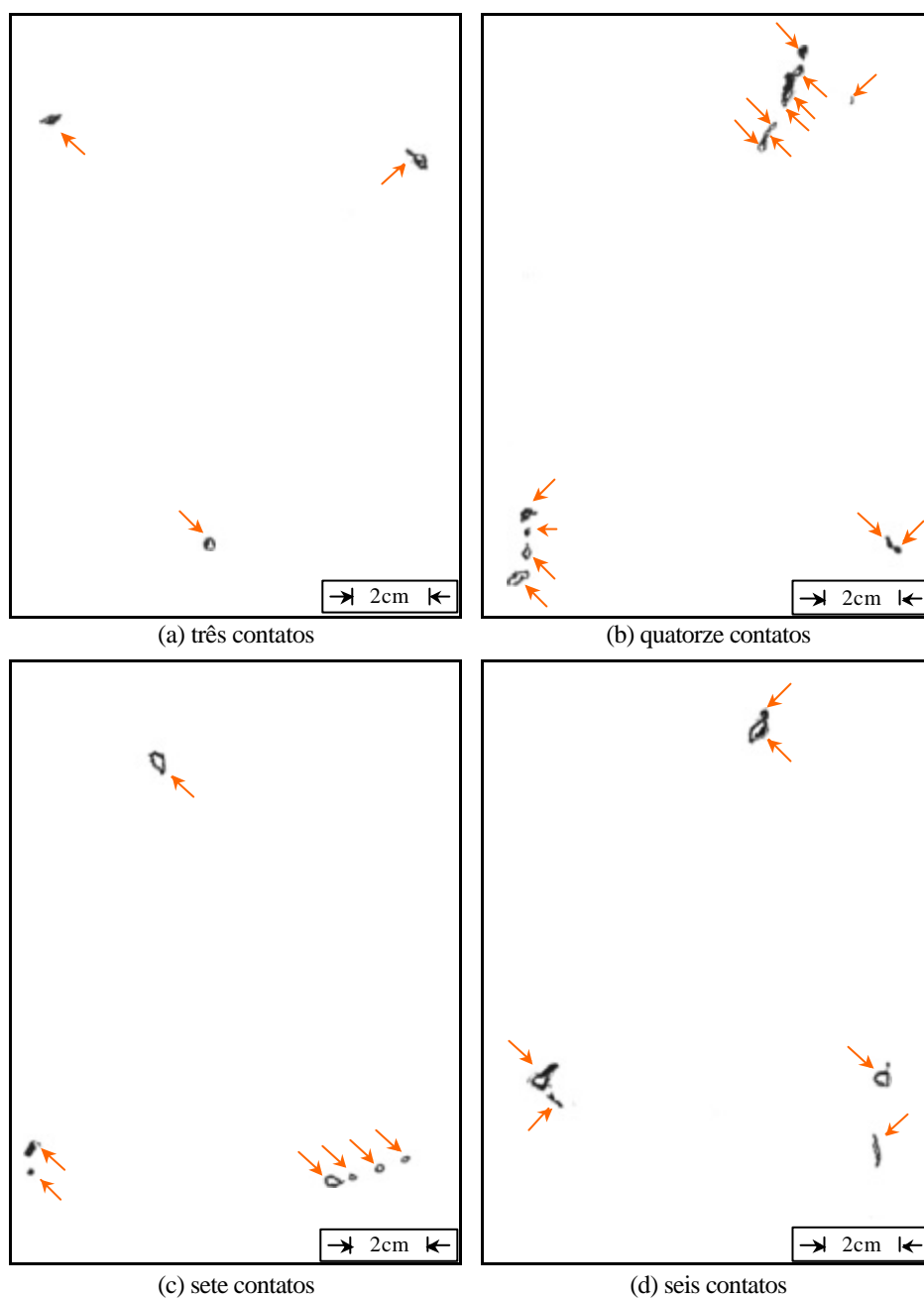


Figura 5.9 - Exemplo da determinação do número de contatos no ensaios de fraturamento de partículas.

### 5.5.5. Esclerometria

A Tabela 5.4 apresenta o número de ensaios de esclerometria. Os ensaios foram executadas no Laboratório de Geotecnia do CEDEX, em Madri. Foram utilizados blocos de rocha com dimensão mínima de 20cm. No ensaio, empregou-se um martelo tipo N, com energia de impacto de 2,207Nm (0,225 kgm). A direção do golpe do martelo foi vertical.

### 5.5.6. Compressão uniaxial e diametral (ensaio brasileiro)

A Tabela 5.5 mostra um resumo do programa de ensaios de compressão uniaxial e de compressão diametral. Os ensaios foram executadas no Laboratório de Furnas, em Goiânia. O procedimento adotado nos ensaios segue as recomendações das normas indicadas na Tabela 2.5. Estes ensaios foram executados no Laboratório de Furnas, em Goiânia. A Figura 5.10 mostra os equipamentos empregados.

Tabela 5.5 - Ensaios de compressão uniaxial e compressão diametral.

Material			Número de ensaios			
Tipo	Origem	Alteração	Compressão uniaxial		Compressão diametral	
			preparadas	ensaiadas	preparadas	ensaiadas
Basalto	Marimbondo	Campo (25 anos)	5	5	10	10
	Pedreira Rio Grande	Intacto (0 anos, 0 h de lixiviação)	5	5	10	10
		300 h de lixiviação	3	3	6	6
		750 h de lixiviação	3	3	6	6
		1500 h de lixiviação	3	2	6	2
		3200 h de lixiviação	3	1	6	1
		50 ciclos de umidade	3	-	6	4
		100 ciclos de umidade	3	-	6	3

A Tabela 5.5 aponta que alguns dos corpos de prova alterados no laboratório não foram ensaiados. Isso se deu em virtude dos danos nestes corpos de prova durante o processo de alteração, o que foi mencionado no item 5.4.2.

A extração dos testemunhos da rocha segue o procedimento descrito no item 5.3.3. Os corpos de prova para ensaios de compressão axial foram moldados através de torno mecânico, com dimensões de  $131,0 \pm 4,0$  mm de altura e  $53,8 \pm 1,4$  mm de diâmetro. A relação entre a altura e o diâmetro foi de  $2,44 \pm 0,1$ . Utilizou-se uma velocidade constante de carregamento axial, cuja média em todos os ensaios foi de 5,5 kN/minuto.

Nos ensaios de compressão diametral (ensaio brasileiro), a moldagem dos corpos de prova se deu através do corte dos testemunhos após a extração. As dimensões médias dos corpos de prova são de  $57,3 \pm 0,7$  mm de diâmetro e  $28,0 \pm 1,2$  mm de espessura. A relação entre a espessura e a altura é de  $0,49 \pm 0,02$ . A velocidade média de carregamento é de 110 N/segundo. O tempo para a ruptura dos corpos de prova foi de  $6,8 \pm 3,8$  minutos.



(a) Compressão uniaxial



(b) Compressão diametral

Figura 5.10 - Equipamentos de compressão uniaxial e compressão diametral no Laboratório de Furnas, Goiânia.

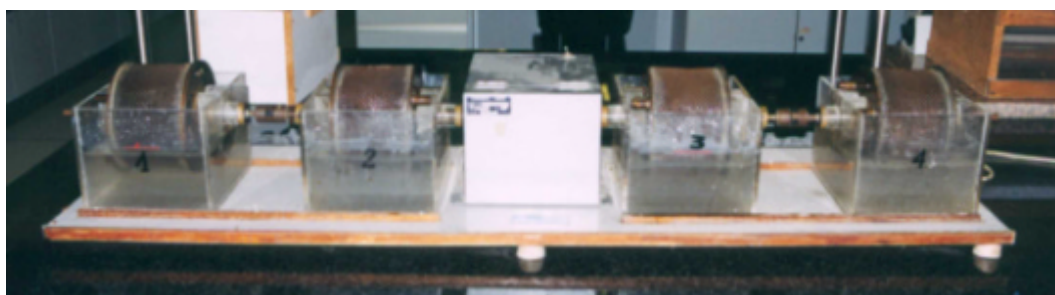
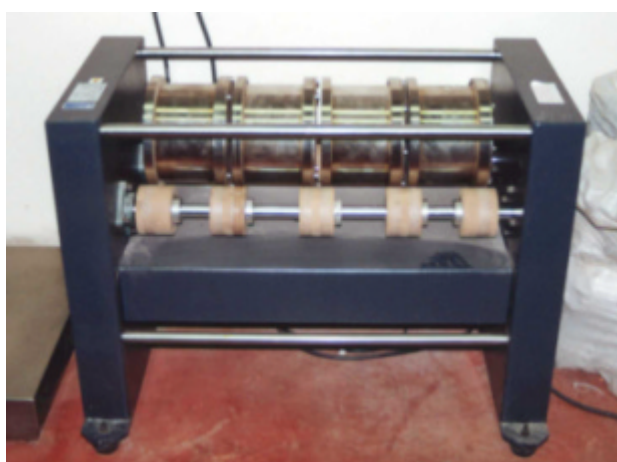
### 5.5.7. Desgaste

Os ensaios de desgaste foram executados em dois tipos de equipamentos: o *slake durability*, SD, (Figura 5.11) e o micro Deval, MD, (Figura 5.12a). Os ensaios foram executadas no Laboratório de Geotecnia do CEDEX, em Madri. A Tabela 5.6 apresenta a quantidade de ensaios executados em cada material. A diferença básica entre os dois tipos de equipamentos é a energia aplicada às amostras para provocar o desgaste.

No ensaio do tipo *slake durability* a amostra se compõe de 10 partículas, com massa entre 40 e 60g cada. As partículas são introduzidas dentro de um cesto cilíndrico vazado (malha com abertura de 2mm), o qual é colocado horizontalmente dentro de um recipiente com água. O nível d'água deve atingir o eixo do cesto. O cesto é submetido a 200 revoluções durante 10 minutos, que constituem um ciclo de ensaio. Neste trabalho, adotou-se um total de cinco ciclos para uma mesma amostra.

Tabela 5.6 - Quantidade de ensaios de desgaste.

Material			Número de ensaios	
Tipo	Origem	Alteração	Slake durability	Micro Deval
Basalto	Marimbondo	Campo (25 anos)	4	4
	Pedreira Rio Grande	Intacto (0 anos, 0 h de lixiviação)	4	4
		100 h de lixiviação	2	2
		240 h de lixiviação	2	2
		600 h de lixiviação	2	2
		1500 h de lixiviação	2	2
		3200 h de lixiviação	2	2
		100 ciclos de umidade	2	2
Granito	Serra da Mesa	São	4	4

Figura 5.11 - Equipamento para ensaios de desgaste do tipo *slake durability test*, capaz de ensaiar quatro amostras simultaneamente.

(a) equipamento micro Deval



(b) preparação da amostra

Figura 5.12 - Equipamento para ensaios de desgaste micro Deval, capaz de ensaiar quatro amostras simultaneamente.