

## Capítulo 4 - MATERIAIS DE ESTUDO

### 4.1. Introdução

A redução da resistência mecânica é um aspecto de grande preocupação na aplicação de rochas em engenharia civil e, por isso, constitui tema de vários relatos de nível nacional e internacional.

Em nível nacional destaca-se o trabalho de Frazão e Caruso (1983) que realiza uma síntese do conhecimento sobre alterabilidade de rochas basálticas, utilizadas como material de construção em algumas barragens do Alto Paraná. Este trabalho ressalta a importância do conhecimento das características dos basaltos utilizados como enrocamento.

Neste sentido, a observação da alteração dos enrocamentos das barragens de Furnas Centrais Elétricas S.A. despertou interesse na avaliação do comportamento geomecânico atual destes enrocamentos. Com o apoio de Furnas, engenheiros da PUC-Rio realizaram visitas técnicas a fim de fazer uma avaliação das condições atuais dos enrocamentos em tais barragens. Constatou-se visualmente a ocorrência de processos de alteração nos enrocamentos de rocha basáltica, em especial, nos enrocamentos de proteção dos taludes de montante das barragens de Marimondo e Porto Colômbia. Estes enrocamentos apresentam alteração significativa, principalmente o enrocamento localizado na faixa de variação do nível d'água dos reservatórios.

Tendo em vista a grande utilização de basaltos como material de construção no Brasil, este trabalho procura avaliar os efeitos da alteração destes materiais aplicados como enrocamentos.

Para tal, foi selecionado o basalto denso da Barragem de Marimondo (Figura 4.1). A escolha deste basalto se deve ao tempo de alteração natural do material (cerca de 25 anos de exposição às condições atmosféricas). Esta exposição provocou a alteração significativa da rocha. Outro condicionante na escolha deste basalto, foi a disponibilidade de amostras de um basalto representativo do enrocamento da Barragem de Marimondo no estado intacto (fase de construção). Foram obtidas amostras da Pedreira Rio Grande (Figura 4.2), localizada nas

proximidades da Barragem. Considerou-se ainda as condições logísticas de amostragem do enrocamento de Marimbondo e da Pedreira.



Figura 4.1 - Vista da Usina Hidroelétrica de Marimbondo, localizada no Rio Grande entre as cidades de Icém-SP e Fronteira-MG.

Vale destacar que, na fase de construção, o basalto denso desta Barragem foi utilizado não somente como enrocamento, mas também, como agregado graúdo nas estruturas de concreto. Este fato atesta a elevada qualidade do basalto como material de construção.



Figura 4.2 - Vista da Pedreira Rio Grande, localizada no Estado de São Paulo, cerca de 2km à jusante da Barragem de Marimbondo.

Paralelamente ao estudo dos basaltos foi desenvolvido, também com apoio de Furnas, um estudo do enrocamento de granito da Barragem de Serra da Mesa (Figura 4.3). Este estudo adicional teve por objetivo, dentre outros fatores, fornecer dados experimentais para uma avaliação da influência da litologia da rocha no comportamento mecânico dos enrocamentos. O enrocamento da Barragem de Serra da Mesa foi objeto de estudo de Caproni Jr. *et al.* (1999), Caproni Jr. e Armelin (1998) e Castro (1996). Tais trabalhos apresentam detalhadamente as características da obra, os resultados de ensaios em equipamentos de grandes dimensões e os resultados de análises numéricas do comportamento tensão vs. deformação do aterro da Barragem. Assim, o presente trabalho elabora somente uma breve descrição desta obra e do respectivo material de enrocamento.



Figura 4.3 - Barragem de Serra da Mesa localizada no Rio Tocantins, entre os municípios de Minaçu e Colinas do Sul, no estado de Goiás.

## **4.2. Basaltos: Barragem de Marimondo e da Pedreira Rio Grande**

### **4.2.1. Barragem de Marimondo**

A Hidroelétrica de Marimondo, implantada por Furnas Centrais Elétricas S.A., está localizada no Rio Grande, entre as cidades de Icém-SP e Fronteira-MG a 500km a noroeste de

São Paulo-SP (Figura 4.4). A hidroelétrica foi construída sobre uma cachoeira de mesmo nome que apresentava cerca de 30 metros altura.

As obras foram iniciadas em 1971 e a geração de energia data de outubro de 1975. Em 1977, as oito unidades geradoras estavam em operação, produzindo um total de 1440MW.

A estrutura da Barragem de Marimbondo tem, aproximadamente, 3200m de comprimento, e se compõe de duas barragens de terra localizadas nas ombreiras e uma estrutura de concreto na parte central. A crista da barragem da ombreira direita possui cerca de 800m de comprimento, e da esquerda aproximadamente 2300m de comprimento. A estrutura de concreto se constitui de um muro de peso fazendo a transição com a barragem direita, uma tomada d'água com oito vãos, um vertedouro com nove vãos e outro muro de peso fazendo a transição com a barragem esquerda (Figura 4.5).

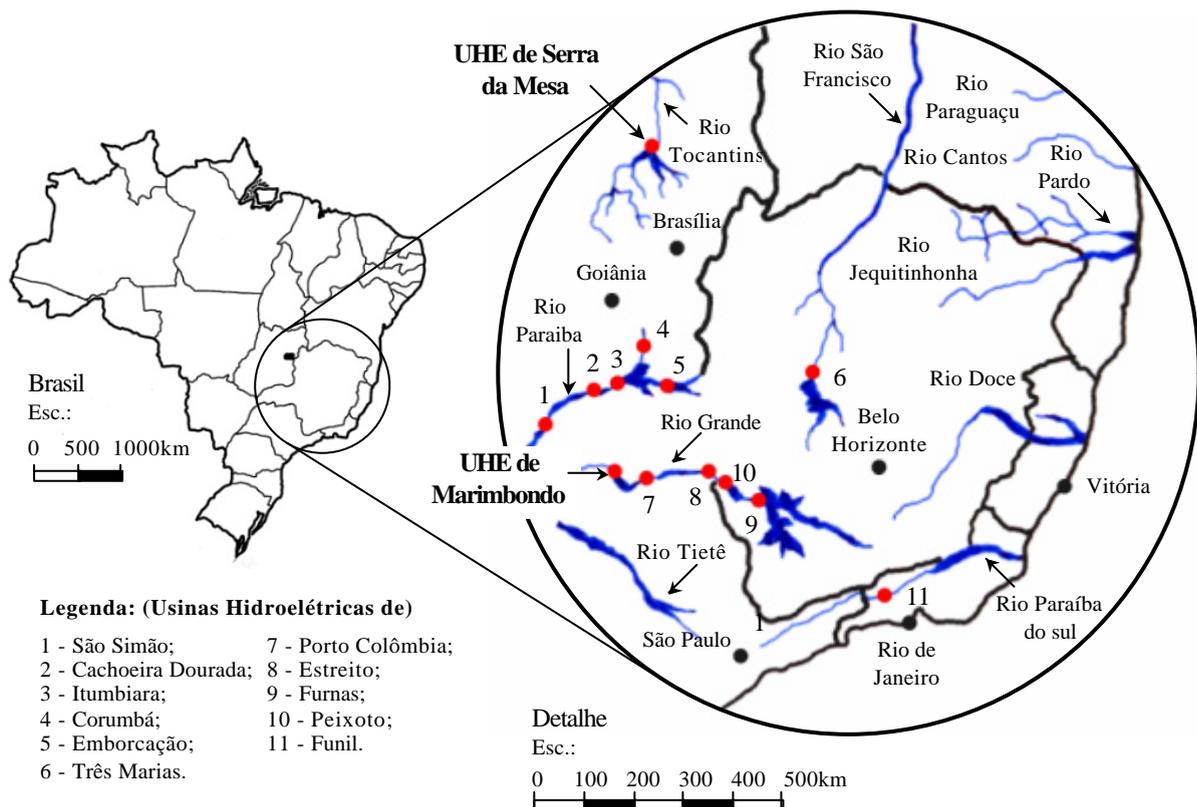


Figura 4.4 - Localização das Usinas Hidroelétricas de Marimbondo e de Serra da Mesa.

A execução das estruturas de repesamento foi dividida em duas etapas. Na primeira, foram construídas a barragem direita, as estruturas de concreto (muros de peso, vertedouro e

tomada d'água) e parte da barragem direita. Nesta etapa, desviou-se o rio por um leito antigo, chamado Braço Morto, localizado na ombreira esquerda. Esta etapa foi concluída em outubro de 1973. Na segunda etapa, desviou-se o rio para passar pelo vertedouro, enquanto era concluído o restante da barragem esquerda.

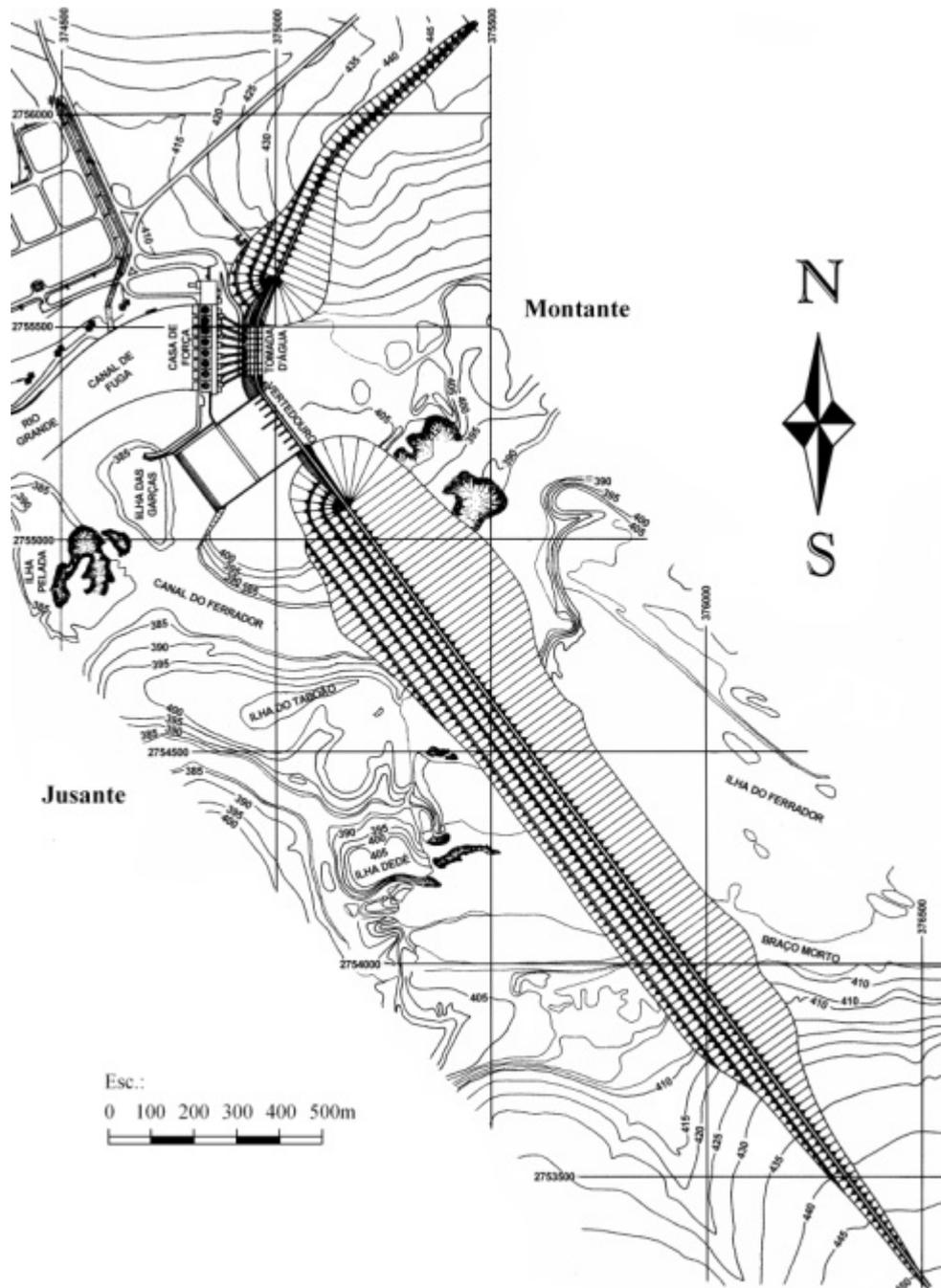


Figura 4.5 - Planta Geral da UHE de Marimbondo (adaptado de CBGB, 1982).

A Figura 4.6 apresenta a seção típica das barragens de terra. A crista da Barragem foi definida na cota 450,0m. A cota do horizonte da rocha de fundação, para grande parte da Barragem, é de aproximadamente 404,0m. Desta forma, a altura média das barragens é de 46m. No Canal do Ferrador, onde a corrente principal do rio escavou um canal estreito e profundo, a Barragem tem altura variável, chegando ao máximo de 90m.

O material utilizado no corpo do aterro da Barragem foi um solo argiloso muito arenoso, retirado de áreas de empréstimo situadas junto às ombreiras. Para os filtros, utilizou-se depósitos de areia ao longo do rio. Na seção típica da Barragem (Figura 4.6), encontra-se o enrocamento de proteção do talude de montante e do enrocamento para drenagem de pé do talude de jusante. O material utilizado nestes enrocamentos corresponde à rocha escavada das fundações das estruturas principais de concreto. Vale destacar que o enrocamento de proteção foi executado por lançamento dos blocos de rocha (tipo rip-rap), juntamente com a construção do corpo do aterro.

#### *4.2.1.1 Geologia*

A Figura 4.7 apresenta o perfil geológico, ao longo do eixo da Barragem de Marimbondo. O Rio Grande, nesta região, passa sobre rochas da formação Serra Geral, da era Mesozóica Superior. Esta formação é composta de uma série de derrames sucessivos de rochas basálticas. O contato entre os derrames é identificado por camadas de arenito, com espessura variada, e/ou pela presença de brechas basálticas. Os arenitos são da formação Botucatu, de origem eólica e apresentam-se silificados. As brechas basálticas apresentam matriz arenítica.

#### *4.2.1.2 Clima*

O clima da região da Barragem de Marimbondo é tipicamente tropical, com períodos de seca e de chuvas bem definidos. O período de seca corresponde aos meses de abril a setembro, quando a precipitação máxima é inferior a 80mm mensais. No período chuvoso, relativo aos meses de outubro a março, a precipitação varia de 250 a 300mm mensais. A Tabela 4.1 apresenta as principais informações climáticas da região da Barragem.