

4 Descrição da obra

A ALCOA Alumínio S.A. utiliza bauxita para a produção de alumínio em sua fábrica de Poços de Caldas - MG. A lama composta de soda cáustica e resíduos de bauxita resultante do processo de produção de alumínio é disposta em lagos artificiais. Durante os anos de 2001 e 2002, foi construído um lago artificial com perímetro de aproximadamente 1700m, denominado Depósito de Resíduos de Bauxita 7 (DRB#7). A capacidade de armazenagem deste lago é de aproximadamente $1,5 \times 10^6 \text{m}^3$. O lago consiste de um dique de solo compactado fechado, com impermeabilização no fundo e nos taludes internos. O desnível entre a crista do dique e o fundo do lago é de 13m, em média.

Para reduzir a área ocupada pelo talude externo do dique e diminuir o volume de solo necessário, foi construído um muro de solo reforçado com geogrelhas nos 5m superiores do dique.

Este muro tem 4,2m de largura, 5,0m de altura, aproximadamente 1700m de extensão e face com inclinação de 1H:5V. o muro foi dimensionado para sobrecarga distribuída de 10kPa 360kN de carga móvel, com fatores de segurança de 2,0 ao tombamento e deslizamento e tensão admissível na fundação de 200kPa.

A Figura 80 apresenta a seção transversal típica do dique. Pode-se observar que a adoção do muro de solo reforçado permite grande redução no talude externo do dique.

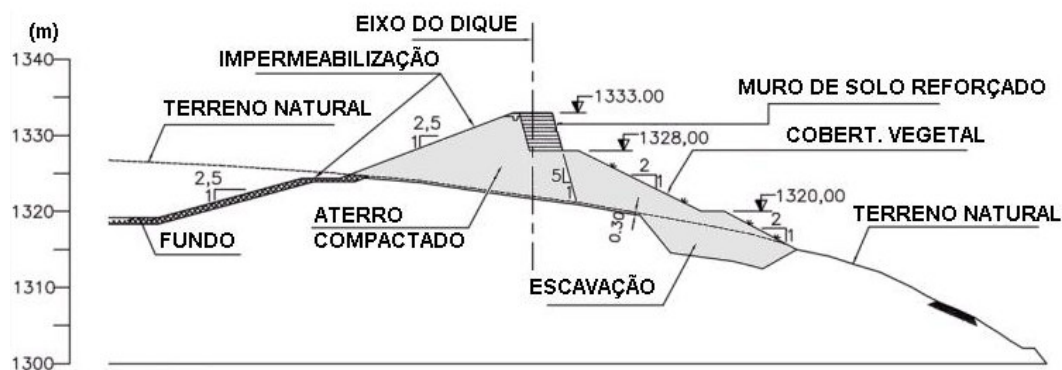


Figura 80 – Seção transversal típica do dique do DRB#7.

Na Figura 81 a seção transversal típica do muro de solo reforçado é apresentada em detalhe.

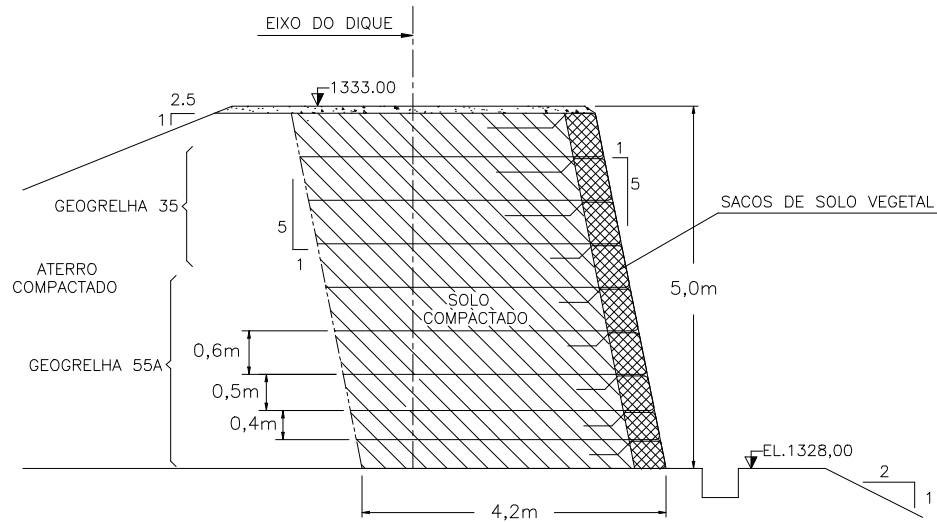


Figura 81 – Detalhe da seção transversal típica do muro de solo reforçado.

Na Figura 82 é apresentada uma foto área do lago em fase de operação.



Figura 82 – Vista aérea do DRB#7 em operação.

O solo empregado foi um solo silto argiloso local, compactado em camadas com grau de compactação médio de 98% do Proctor Normal e mínimo de 95%.

Foi permitido um desvio na umidade de compactação de -2 a +4 p.p., referido à umidade ótima do Proctor Normal. A aceitação das camadas compactadas, pela Fiscalização, foi realizada pelo método de Hilf, com verificação posterior pelo método de Proctor.

O solo empregado na construção dos diques foi obtido por escavação do fundo do lago e por extração em duas jazidas ao lado da obra. Algumas propriedades do solo das seções estudadas, empregadas no projeto executivo do muro, são indicadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Propriedades médias de projeto do solo empregado.

Propriedade	Valor
Fração passante - peneira 40 (%)	84,9
Fração passante - peneira 200 (%)	74,2
Índice de plasticidade (%)	18
Umidade ótima (%)	30,4
Ângulo de atrito (°)	29
Intercepto coesivo (kPa)	5
Peso específico seco máximo (kN/m ³)	13,83

Para reforço do solo foram empregadas as geogrelhas de PVA Fortrac 35/20-20/30 MP e Fortrac 55/25-20/30MP. No estudo da resistência ao arrancamento também foi utilizada a geogrelha Fortrac 55/30-20. A Tabela 10 apresenta as propriedades nominais das referidas geogrelhas, para ensaios de tração não confinada em laboratório, conforme a norma alemã DIN EN ISO 10319. Por simplicidade, as geogrelhas 35/20-20/30MP, 55/25-20/30MP e 55/30-20 serão doravante designadas 35, 55A e 55B.

Tabela 10 - Propriedades nominais das geogrelhas (HUESKER 1999).

Geogrelha	Resistência à tração (kN/m)	Rigidez (kN/m)	Alongamento na ruptura (%)
35 (Fortrac 35/20-20/30 MP)	35	700	5
55A (Fortrac 55/25-20/30 MP)	55	1100	5
55B (Fortrac 55/30-20)	55	458	12

O processo construtivo consistiu, basicamente, em dispor camadas de geogrelha entre as camadas compactadas de solo. O espaçamento das camadas de geogrelha variou de 0,4m, na base, até 0,6m, no topo. Na face foi executado o auto-envelopamento da geogrelha. Sacos de terra vegetal empilhados foram empregados durante a construção como elementos de forma, na face. A proteção da face foi feita por revegetação. As seis camadas inferiores são de geogrelha 55A e as três restantes de geogrelha 35.

A seqüência construtiva do muro é cíclica e pode ser descrita em onze etapas:

- a) Marcação das posições das camadas de sacaria da face do muro por meio de topografia;
- b) Posicionamento da geogrelha com sobra para o posterior “envelopamento” sobre uma camada de solo já compactado e nivelado, conforme pode-se observar na Figura 83 e fixação ao solo por meio de grampos metálicos (Figura 84). A porção da geogrelha que se estende até a canaleta é a “sobra” necessária para o envelopamento;
- c) Colocação das camadas de sacaria na posição indicada pela topografia (enfileiradas em duas camadas sobrepostas no início e depois três camadas de cada vez) e compactação leve da terra contida nos sacos por meio de soquetes manuais (Figura 85);
- d) Lançamento de uma camada de solo por meio de caminhões;
- e) Espalhamento do solo por tratores de esteira (Figura 86);
- f) Ajuste estimado da umidade do solo por meio de tradagem para reduzir a umidade (Figura 87) ou umedecimento por caminhão pipa;
- g) Compactação do solo próximo a sacaria (aproximadamente 0,5m) através de equipamento tipo “sapo” (Figura 88);
- h) Compactação do solo restante por meio de rolo compressor vibratório pata curta CA-25 (Figura 89);
- i) Retirada de amostras de solo para ensaios expeditos de controle de umidade e densidade (Figura 90). A especificação de recebimento dos serviços estabelece grau de compactação (G.C.) mínimo de 95% do Proctor Normal e médio de 98% com desvio padrão inferior a 3%. No caso da umidade, tolerava-se um desvio de -2 a +4 p.p. da umidade ótima do Proctor Normal;
- j) Liberação da camada compactada pela fiscalização;

k) Lançamento de nova camada de solo ou nivelamento da camada recém compactada por meio de moto-niveladora (Figura 91) para colocação de nova camada de geogrelha ou envelopamento da que resta.



Figura 83 - Instalação da primeira camada de geogrelha do muro.



Figura 84 - Detalhe da fixação da geogrelha por grampo de metal em forma de U invertido cravado no solo.



Figura 85 - Posicionamento da primeira fiada de sacaria assentada com soquetes manuais.



Figura 86 - Lançamento da camada de solo sobre a geogrelha por trator de esteiras D4.



Figura 87 – Gradeamento para redução e uniformização da umidade da camada de solo lançada.



Figura 88 - Compactação do solo lançado próximo à sacaria por meio de “sapo”.



Figura 89 - Compactação da camada por meio de rolo compressor vibratório pata curta CA-25



Figura 90 - Retirada de cilindro de metal cravado no solo para realização de controle de compactação.



Figura 91 - Nivelamento de camada compactada por meio de moto-niveladora para permitir o lançamento de uma nova camada de geogrelha.