

TERRAPLENAGEM

Compactação de Aterros



Profª MSc: Claudia Scoton A. Marques
claumarques@dec.feis.unesp.br

CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS NO CONTROLE DE COMPACTAÇÃO DE ATERROS

- Amostragem em intervalos de 100 m, alternando a coleta entre o eixo e bordos direito e esquerdo, podendo diminuir em função da importância da obra (DNIT);
- Critério para aprovação - média que deverá alcançar o GC% especificado, desde que individualmente os ensaios atinjam o mínimo admissível. Esse mínimo é determinado com base na Estatística, considerando a distribuição de G% como Normal.

CONTROLE ESTATÍSTICO

- Determinar a média aritmética

$$X = \frac{\sum X_i}{n}$$

- Determinar o Desvio padrão, dado por:

$$\sigma \cong \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n - 1}}$$

- Sendo $n < 30$

CONTROLE ESTATÍSTICO

- As probabilidades de ocorrência de quaisquer intervalos de valores das massas específicas podem ser calculadas com auxílio da variável aleatória Z que pode ser encontrada na tabela de distribuição normal padronizada. A tabela 1 abaixo exemplifica com as probabilidades em relação à alguns valores de Z.

Z	Probabilidade (%)
0	50
0,68	25
1	15,9
1,96	2,5
2	2,3
2,58	0,5
3	0,1

CONTROLE ESTATÍSTICO

- Se adotássemos $Z = 3$, estaríamos praticamente exigindo que todos os valores de G% estivessem dentro do intervalo.
- Por razões técnico-econômicas, o DNIT costuma adotar em seu plano de amostragem o valor $Z = 0,68$, que corresponde à um risco de 25 % de ocorrência de graus de compactação fora do intervalo.
- O valor mínimo provável (admissível), para esse risco, será obtido por:

$$X_{\min} = X - \left(\frac{1,29}{\sqrt{n}} + Z \right) \sigma$$

CONTROLE ESTATÍSTICO

- Quando o número de amostras é pequeno, o DNIT recomenda, pelas mesmas razões, a adoção de Z conforme a tabela 2, como garantia de que os valores de G% estejam no intervalo $X \pm Z \cdot \sigma$.

N	Z
3	1,0
4	1,5
6	2,0
9	2,4
10	2,5
20	3,0

CONTROLE ESTATÍSTICO

- EXEMPLO:

- Num trecho de estrada com exigência de $G = 95\%$, foram coletadas 9 amostras individuais com os graus de compactação abaixo. Decidir se o serviço de compactação deverá ou não ser aceito.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G %	95	97	100	102	105	103	93	100	99

CONTROLE ESTATÍSTICO

Cálculos:

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G %	95	97	100	102	105	103	93	100	99

- Média dos graus de compactação das amostras :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{894}{9} = 99,34 \sim 99$$

- Desvio Padrão = $\sigma \cong \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{119}{8}} = 3,9$

CONTROLE ESTATÍSTICO

- Intervalo de confiança: Como são nove amostras, devemos adotar (tabela 2) , portanto $Z = 2,4$

- $X \pm Z \cdot \sigma = 99 \pm 2,4 \times 3,9 = 99,34 \pm 9,36 \sim 99 \pm 9$

- $X_{\text{mínimo}} = 90$ (valor mínimo especificado)

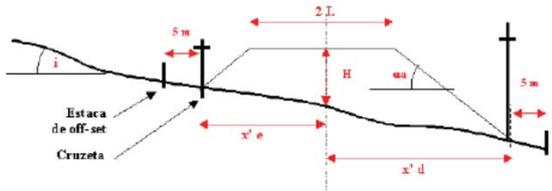
- $X_{\text{máximo}} = 108$

- De acordo com o plano de amostragem do DNIT, para o risco de 25% ($Z = 0,68$) , o valor mínimo provável do grau de compactação seria dado por:

$$X_{\text{mín provável}} = 99 - \left(\frac{1,29}{\sqrt{9}} + 0,68 \right) \times 3,9 = 95$$

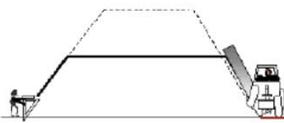
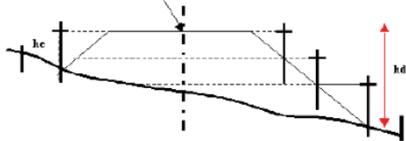
EXECUÇÃO DE ATERROS

- O trabalho começa com o desmatamento, quando necessário.
- São colocadas as cruzetas de marcação, que indicam alturas da plataforma em relação ao pé do aterro



EXECUÇÃO DE ATERROS

Cota do grade do projeto

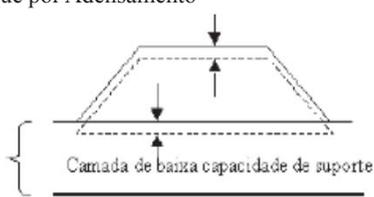


Conferindo o ângulo do talude de aterro e acertando o talude com uma motoniveladora. Onde a motoniveladora não alcança, o acerto é feito manualmente.

EXECUÇÃO DE ATERROS

- PRINCIPAIS TIPOS DE OCORRÊNCIAS INDESEJÁVEIS:

a) Recalque por Adensamento

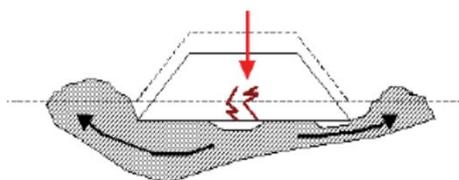


SEMPRE EXISTIRÁ ADENSAMENTO E RECALQUE, mas este deverá ser previsto e mantido sob controle.

EXECUÇÃO DE ATERROS

• PRINCIPAIS TIPOS DE OCORRÊNCIAS INDESEJÁVEIS:

- b) **Ruptura por afundamento** - o corpo do aterro sofre um deslocamento vertical e pode afundar por igual no terreno mole, expulsando lateralmente o material ruim, com a formação de bulbos.



EXECUÇÃO DE ATERROS

- c) **Ruptura por escorregamento:** - Ocorre quando o aterro é construído sobre uma camada mole, de baixa resistência ao cisalhamento, que se apoia sobre outra camada mais resistente.



EXECUÇÃO DE ATERROS

• SOLUÇÕES:

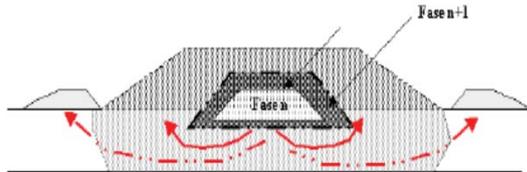
- a) **REMOÇÃO DO SOLO RUIM E SUBSTITUIÇÃO POR MELHOR:**

- A camada problemática é totalmente removida por equipamentos escavadores especiais, substituindo-se o volume resultante desta remoção por material de boa qualidade, usualmente um produto inerte frente à ação da água. Após, executa-se normalmente o aterro projetado.
- Este procedimento enfrenta, no entanto, limitações de ordem técnica e econômica, quando o porte da camada a remover assume proporções elevadas

EXECUÇÃO DE ATERROS

b) DESLOCAMENTO DO MATERIAL INSTÁVEL:

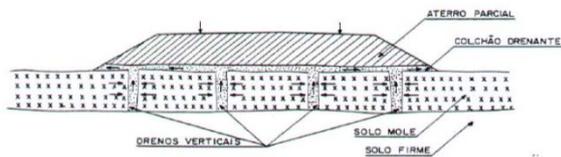
- O próprio peso do aterro é utilizado para deslocar o material original, quando este for muito mole. O aterro é feito aos poucos, em setores, e o material mole vai sendo expulso à medida que a altura do aterro cresce.



EXECUÇÃO DE ATERROS

c) EXECUÇÃO DE DRENOS VERTICAIS, para acelerar o adensamento:

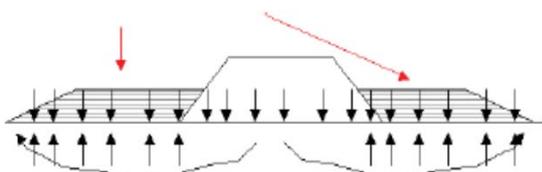
- Uma camada de areia (colchão) é lançada sobre o topo dos drenos, para que a água drenada possa sair quando pressionada pelo aterro em execução. O dimensionamento dos drenos é função dos coeficientes de percolação da água. Em geral, os diâmetros variam de 20 a 60 cm, com espaçamento da ordem de dez vezes o valor do diâmetro (2 a 6 m).



EXECUÇÃO DE ATERROS

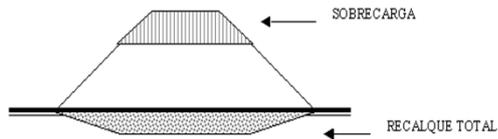
d) EMPREGO DE BERMAS DE EQUILÍBRIO:

- As bermas de equilíbrio funcionam como contrapesos, evitando a formação de bulbos e o deslocamento do material instável.



EXECUÇÃO DE ATERROS

- e) **EMPREGO DE SOBRECARGAS:** fazer o aterro com cota excessiva, para que o peso acelere o recalque com a expulsão do material sem capacidade de suporte. Evitar ruptura do solo instável e afundamento do solo de aterro. Depois de tempo suficiente, quando não se observam mais recalques, remover o excesso, que pode ser reutilizado



EXECUÇÃO DE ATERROS

- f) **Expulsão da camada mole por meio de explosivos.**
- Neste processo, uma porção de aterro projetado é inicialmente sobreposta à camada mole, sucedendo-se a implantação de cargas explosivas no interior deste. A detonação das cargas explosivas, contida superiormente pela porção de solo adicionada, faz com que parte dos solos moles seja expulsa lateralmente e que, como consequência, o material sobreposto preencha o volume liberado. Novas adições de material de aterro e detonações fazem com que a camada mole seja gradualmente substituída pelo material importado. Findo este processo, o aterro pode ser normalmente executado

