

CAPÍTULO IV

ATERROS

4.1 MOVIMENTOS DE TERRAS

Entende-se por movimentos de terras, todas as alterações intencionais na forma dos terrenos quer por escavação quer por aterro.

O terreno pode ser natural ou já modificado.

4.2 DEFINIÇÃO DE ATERRO

Da mesma forma, pode-se definir aterro como uma obra constituída por um maciço artificial de terras.

As terras são provenientes, essencialmente, de dois locais:

- Das zonas das escavações na linha de corte do traçado
- Das zonas de empréstimo

Na construção de aterros procuram-se solos com capacidade suficiente para suportar a carga prevista.

Os solos devem ter características adequadas para garantir essa exigência.

Os solos deverão, também, estar isentos de ramos, folhas, troncos, raízes, ervas, lixo ou qualquer tipo de detritos orgânicos.

Na colocação de solos em aterro há que colocar os de pior qualidade na camada inferior melhorando sucessivamente até à camada superior.

Na construção de aterros sobre terrenos que não conseguem suportar o próprio peso dos equipamentos a camada inferior deve ser executada com materiais granulares e com a espessura mínima para suportar o equipamento. Contudo, senão se quiser utilizar estas técnicas pode-se sempre recorrer a um geotêxtil com as características mecânicas necessárias para suportar o devido equipamento.

A partir destas cotas, em geral, a construção do aterro faz-se em camadas devidamente compactadas.

4.3 ASSENTAMENTOS DOS ATERROS

Não se devem fazer fundações directas sobre aterros pois todos os aterros são passíveis de assentamentos. Contudo, em casos muito especiais podem ser utilizados para fundações desde que se utilizem técnicas especializadas de compactação. Assim dependendo do fim em vista, há regras de estabilização que devem ser sempre tidas em conta.

➤ Razões para os assentamentos

Consolidação dos materiais que por efeito do corte aumentaram de volume (empolamento) alterando a arrumação natural das partículas e criam bolsas de ar que funcionam como almofadas resistindo a uma nova arrumação.

Como todos os solos são porosos, a porosidade depois do empolamento pode atingir valores na ordem dos 20%.

A porosidade varia com a textura do solo e na razão inversa da dimensão das partículas constituintes do solo.

Os poros podem estar preenchidos com água ou ar.

A consolidação corresponde a uma arrumação das partículas sólidas reduzindo, assim, a dimensão e a quantidade de poros por compressão e expulsão de ar e expulsão de água em excesso.

Quando um solo é muito poroso e por isso é capaz de armazenar grandes quantidades de água, há uma maior dificuldade para se compactar o solo. A água desloca-se lateralmente devido ao efeito de pressão superior prejudicando a estabilização do aterro.

Quando um solo possui a mesma quantidade de poros mas de menores dimensões, armazenando assim menos quantidade de água, esta água é mais facilmente expulsa por escoamento.

Para aterros pouco espessos, os solos arenosos e solos argilo- arenosos podem conduzir à falsa estabilização quando existe a possibilidade de responderem à compactação com deslocções laterais alternadas.

Para cada solo, há que verificar o seu comportamento, o seu estado limite e relacioná-los com o tipo, estado e inclinações da base de assentamento.

4.4 CONSTRUÇÃO DE ATERROS

Junto a edifícios ou no seu interior, os aterros não devem ser feitos por camadas superiores a 0,20 metros de altura. Devem também ser compactados até se verificar que o dispositivo compactador deixe de produzir efeito.

Para se lubrificar as partículas é indispensável a sua rega, mas não de uma forma excessiva (para não prejudicar a compactação).

Quando o limite de aterro em qualquer das faces termina em talude, deve defender-se a fuga do efeito de compactação, por deslocações laterais sucessivas, reduzindo até ao necessário o ângulo de inclinação.

Na reposição de terras em valas, deve observar-se a espessura das camadas recomendada e o efeito do compactador. Junto dos tubos ou cabos eléctricos só se deve aplicar areia ou terra sem pedras.

O apiloamento na zona de envolvimento deve fazer-se com apiloador de madeira.

Os trabalhos de aterro executam-se em grandes volumes de habitação, em construção industrial, em construção de vias de comunicação, em construções hidrotécnicas. Para se proceder a construções de menor envergadura também se utilizam aterros como é o caso da construção de edifícios, de canalização e de túneis.

As propriedades e características de cada solo é que vão determinar a tecnologia a utilizar e o custo da mão-de-obra na construção.

Algumas destas características são: a massa volúmica, a humidade e o ângulo do declive natural.

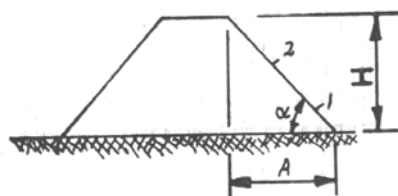
A massa volúmica de um solo pode variar de 1,5 a 3,5. (Toneladas por metro cúbico)

Para garantir a estabilidade, nas construções de terra executam-se declives.

O escarpamento destes declives determina-se pelo ângulo do declive natural. Este ângulo, por sua vez, depende do ângulo de adesão interior, da pressão, das camadas de solo que ficam por cima.

O valor de adesão do solo muda de acordo com a sua humidade.

Nos solos mais húmidos, os aterros executam-se num declive caracterizado pelo valor do ângulo alfa ou pelo coeficiente da colocação do declive em A com a altura H ou simplesmente pelo coeficiente do declive m



Tipo de solo	Profundidade de escavação em metros					
	Menos 1.5		de 1.5 até 3		de 3 a 5	
	L°	A/H	L°	A/H	L°	A/H
Aterro	76	0.25	45	1.0	38	1.25
Areia	63	0.50	45	1.038	45	1.0
Saibro	76	0.25	56	0.67	50	0.85
Terra argilosa	90	0	63	0.50	53	0.75
Argila	90	0	76	0.25	63	0.50
Loess	90	0	63	0.5	63	0.50

Figura IV.1 - Declive admissível em aterros construídos sem escoramento

Para se determinar o volume dos trabalhos de aterro é necessário determinar o volume das várias figuras geométricas que constituem formas de construção de terra.

Se uma construção de terra tem uma forma geométrica complexa o seu desenho deve ser dividido em várias partes. O cálculo de volumes faz-se separadamente.

4.5 CÁLCULO DO VOLUME DOS TRABALHOS DE ATERRO PARA NIVELAMENTO

O nivelamento da terra pode ser executado segundo a cota dada ou a cota que marca zero em relação aos trabalhos de aterro.

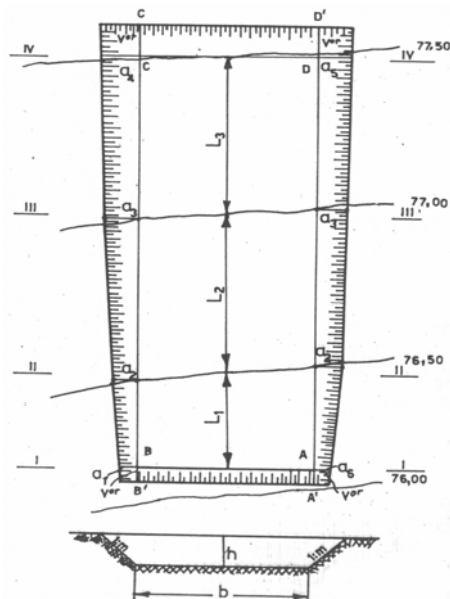


Figura IV.2 – Determinação das cotas de trabalho a partir do contorno da base de escavação e das curvas de nível.

O cálculo de volume dos trabalhos executa-se pelo método de quadrados ou de prismas com base triangular.

Embora o método dos quadrados seja mais simples é também menos exacto.

Neste caso, a planta divide-se em quadrados e, se o terreno for acidentado, no lado do quadrado marca-se de 10 a 50 metros; se pelo contrário, o terreno for plano, no lado do quadrado marca-se até 100 metros.

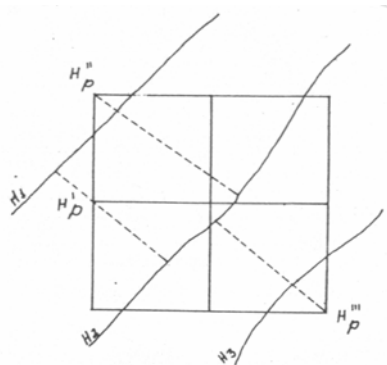


Figura IV.3 – Cálculo dos volumes de aterro/escavação – método dos quadrados

Para o método de prismas com base triangular, os quadrados marcados devem ser divididos pelas diagonais dos triângulos.

Para calcular o volume dos trabalhos de aterro é preciso determinar

- As cotas pretas dos vértices dos quadrados
- As cotas vermelhas (cotas de projecto)
- As cotas dos trabalhos
- A linha zero dos trabalhos
- O volume dos trabalhos do aterro dividido em quadrados (ou em prismas com base triangular)

Para determinar as cotas pretas dos vértices dos quadrados (ou de triângulos) utilizam-se cunhas de nível obtidas por meio de interpolação.

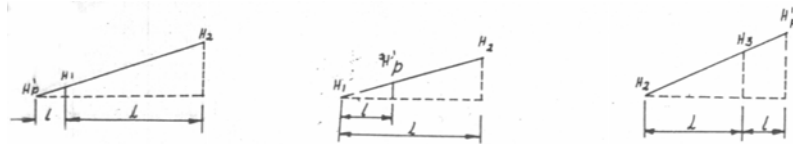


Figura IV.4 – Método dos prismas com base triangular – obtenção das cunhas de nível

Para determinar as cotas pretas dos pontos que ficam entre os vértices é preciso traçar a perpendicular às linhas de nível mais próximas. A cota preta que fica entre duas linhas de nível determina-se pela seguinte expressão:

Quando a cota preta se encontra fora das curvas de nível determina-se com a seguinte expressão:

$$H_{1p} = H_1 + \frac{(H_2 - H_1) \times l}{L}$$

$$H_{11p} = H_1 - \frac{(H_2 - H_1) \times l}{L}$$

$$H_{111p} = H_3 - \frac{(H_3 - H_2) \times l}{L}$$

H_1 , H_2 e H_3 são as cotas das curvas de nível (m);
 l é a distância entre duas linhas de nível em planta (m);
 c é a distância do vértice às curvas de nível (m).

A cota vermelha é a cota de projecto que mostra o valor de nivelamento.

Para se proceder ao balanço zero dos trabalhos de aterro é necessário que se determine a cota média do projecto.

Em cálculos aproximados a cota vermelha é igual à cota média do relevo natural – H_0 .

Se a área fosse dividida só pelos quadrados ficávamos com:

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 4\sum H_4}{4n}$$

$\sum H_1$ - soma das cotas pretas com vértices que pertencem a um só quadrado;

$\sum H_2$ - soma das cotas pretas com vértices que pertencem a dois quadrados;

$\sum H_4$ - soma de marcas com vértices que pertencem a quatro quadrados;

n - quantidade de quadrados na área.

Se a área fosse dividida pelos triângulos, H_0 seria calculado da seguinte forma:

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 6\sum H_6}{6n}$$

$\sum H_1$ - soma das cotas pretas existentes nos vértices que pertencem a um só triângulo

$\sum H_1$ $\sum H_3$ $\sum H_6$ - soma das cotas pretas existentes nos vértices e que são comuns respectivamente para dois, três e seis triângulos

n - quantidade de triângulos na área

Nos lados dos quadrados ou dos triângulos que têm cotas com sinais contrários determina-se graficamente ou analiticamente uma disposição de pontos zero. Se traçarmos uma linha unindo os pontos zero obtemos a linha de trabalho zero.

É esta a linha que divide as partes de aterro das partes de escavação.

Quando é utilizado o método gráfico, traça-se nos lados do quadrado as cotas de trabalho.

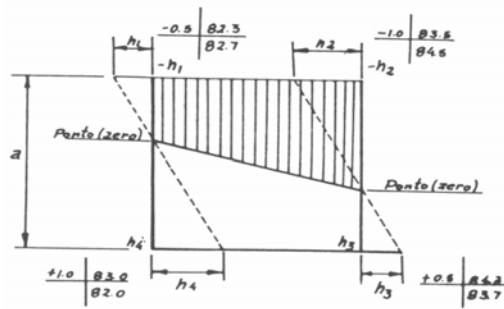


Figura IV.5 – Método gráfico – traçado das cotas de trabalho

A cota de sinal positivo (+) é marcada noutra direcção.

Ligam-se os pontos extremos das cotas em linha recta. O ponto do cruzamento desta linha com o lado do quadrado ou do triângulo é o ponto zero.

Quando é utilizado o método analítico a posição do ponto zero determina-se pela semelhança dos triângulos.

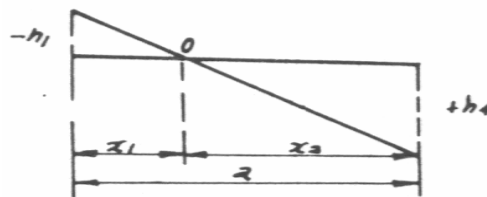


Figura IV.6 – Método Analítico por semelhança de Triângulos

$$X_1 = a \times \frac{h_1}{h_1 + h_4}$$

X_1 - distância do vértice no ponto zero (m)

a - lado do quadrado ou do triângulo (m)

h_1-h_4 cotas de trabalho em valor absoluto (m)

Para determinar todo o volume dos trabalhos de aterro com o método dos quadrados, é necessário somar-se os volumes do solo nos quadrados de cotas com sinais iguais que é igual a volume do prisma tetraédrico. A base deste prisma corresponde ao relevo natural e a outra à superfície do nivelamento.

O volume deste prisma é igual ao produto da cota média do trabalho pela área de quadrado. Ou seja:

$$V = \frac{a^2}{4} \times (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$$

Se as cotas de trabalho são positivas (+) temos volumes de aterro, se as cotas de trabalho são negativas(-) temos volumes de escavação.

Quando se usa o método dos prismas com base triangular, o volume do solo dentro dos limites de cada triângulo com cotas de sinal igual é igual ao volume do prisma triangular.

A base deste prisma determina a área do triângulo e os seus vértices dão-nos o valor das cotas de trabalho.

O volume do prisma é determinado a partir da seguinte fórmula:

$$V = \frac{a^2}{6} \times (h_1 + h_2 + h_3)$$

a - lado do quadrado (m)

h_1, h_2, h_3 - cotas de trabalho dos vértices da base triangular do prisma (m)

A determinação dos volumes de escavação e de aterros por meio de triângulos com cotas de sinais opostos faz-se separadamente.

Este volume é possível de determinar como o volume da *pirâmide triangular ABCD* e como o volume da *cunha MNPLBC*.

Ora vejamos:

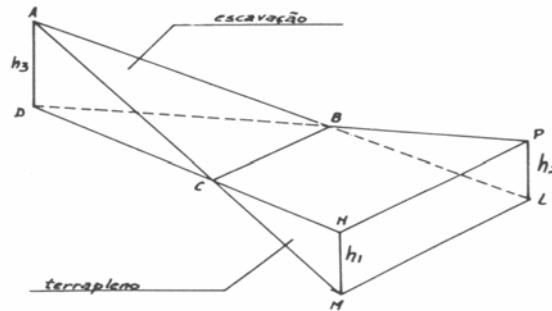


Figura IV.7 – Determinação dos volumes de Escavação e Aterro por meio de Triângulos

Assim, o volume da *pirâmide ABCD* determina-se com a seguinte expressão:

$$V_p = \frac{d_2 \times h_3^3}{6 \times (h_3 + h_1) \times (h_2 + h_3)}$$

a - lado do quadrado (m)

h_3 - cota de triângulo que tem sinal contrário às outras marcas nos vértices do triângulo (m)

h_1 e h_2 - cotas de trabalho de igual sinal (m)

Nota: As cotas de trabalho que entram no cálculo são valores absolutos.

O volume da *cunha MNPLBC* é determinado pela fórmula:

$$V_c = \frac{a^2}{6} \times \left[\frac{h_3^3}{(h_3 + h_1) \times (h_2 + h_3)} \right] \times h_1 - h_2 + h_3$$

Assim, todo o volume de aterros pode ser obtido pela soma dos volumes do trabalho de aterro nos quadrados ou nos triângulos.

O cálculo do volume de solo de aterro deve determinar-se juntamente com os declives.

Desta forma, é necessário determinar pelo perímetro das áreas niveladas o valor dos declives em pontos das cotas de trabalho.

Este valor é igual ao produto do valor da cota de trabalho pelo coeficiente do declive.

Ligando os pontos do declive pelas linhas rectas obtém-se em planta os declives de aterro.

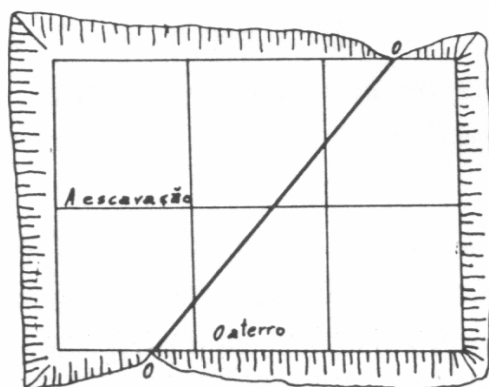


Figura IV.8 – Declives da Escavação e do Aterro

É possível calcular a soma dos valores do solo nos declives de aterro usando a seguinte fórmula (aproximada):

$$V = \left(\frac{\sum h}{n} \right)^2 \times \frac{\sum l \times m}{2}$$

$\sum h$ - soma de todas as cotas de trabalho que ficam no perímetro do aterro ou de escavação (m)

$\sum l$ - comprimento das bases de todos os declives de escavação ou aterro (m)

n - n° de cotas

m - coeficiente do declive

4.6 MÉTODOS PARA A EXECUÇÃO E MECANIZAÇÃO DOS TRABALHOS DE ATERRO

Método mecânico – com a ajuda de máquinas que retiram o solo no campo de construção (ex. retroescavadoras)

Método hidromecânico – com a ajuda de máquinas que removem a terra pela pressão das águas ou pela absorção do solo juntamente com a água

Método explosivo – com a ajuda de explosivos

Por vezes podem ser usados combinados.

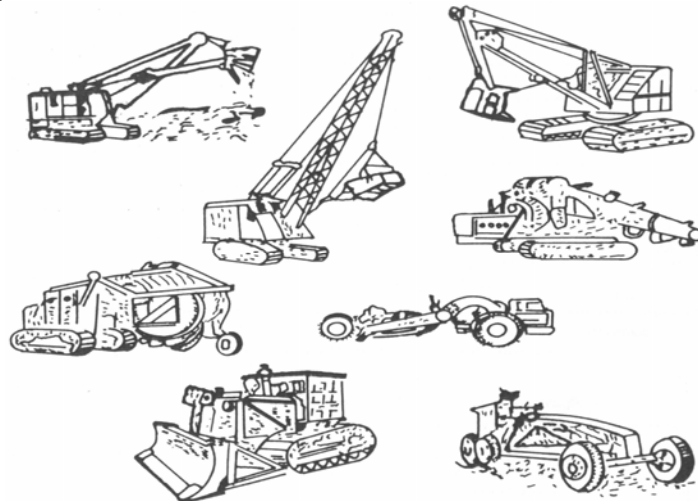


Figura IV.9 – Equipamentos para movimentos de Terra

Antes de se proceder aos trabalhos mais generalizados de aterro, são necessários alguns trabalhos preliminares e auxiliares. Alguns destes trabalhos são a limpeza da área, o traçado das construções de aterro, o desvio da água do local de trabalho, a compressão da terra.

Assim, os buracos que possivelmente foram deixados pelo destroncamento e desenraizamento e as depressões que se encontram na área atingida pelo aterro foram cheios e devidamente compactados.

Normalmente, antes da colocação dos solos em aterros procede-se à regularização do leito com uma motoniveladora.

Para se transferirem os valores do desenho para o aterro, ou seja, para se fazer o traçado das construções de aterro utilizam-se instrumentos geodésicos.

A escolha dos meios de mecanização para os trabalhos de aterro, depende do volume desses trabalhos, dos prazos para a sua entrega, das condições topográficas e de outros factores.

Existem vários tipos de compactação. Vejamos os mais utilizados:

- Apiloamento braçal por meio de maços
- Apiloamento com pilão mecânico autónomo ou pneumático
- Compactação com placas vibratórias

- Compactação com cilindros de rolos ou pneumáticos, com ou sem vibração
- Compactação com cilindros providos de pontas penetrantes (pés de caneiro)
- Exemplo de camião para transporte de terras e aterro.