

REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES
SECRETARIA REGIONAL DO EQUIPAMENTO SOCIAL

Laboratório Regional de Engenharia Civil

EROSÃO E PROCESSOS DE DEFESA

Jaime Martinho Ferreira Meireles

DIVISÃO DE VIAS DE COMUNICAÇÃO

PONTA DELGADA, JUNHO DE 1985

EROSÃO E PROCESSOS DE DEFESA

por

Jaime Martinho Ferreira Meireles⁽¹⁾

RESUMO

A erosão resultante do escoamento hidrológico superficial e subterrâneo é um fenómeno que pode levar à ruína total ou parcial de estradas, obras de arte, etc.

Este trabalho procura dar conta dos resultados do estudo sistemático que tem sido levado a cabo no sentido de identificar os solos fortemente erodíveis e de expôr os processos que têm sido utilizados para minimizar os efeitos provocados pela erosão.

1 - INTRODUÇÃO

A erosão continental, que é um problema de todo o mundo, embora se revista de especial acuidade no aspecto agrícola, também tem importância na engenharia civil. Assim, poder-se-á citar as obras de engenharia expostas à erosão tais como: taludes de estradas e aeródromos, plataformas não revestidas de vias e pistas, canais, barragens, etc.

Em consequência dos prejuízos causados por este fenómeno, justifica-se um estudo sistemático não só para identificar os solos mais ou menos sujeitos à erosão, como também para estudar as técnicas de defesa contra esta erosão.

2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A EROSÃO E SUA MEDIÇÃO

2.1- Erosão - A erosão é resultante da acção dos agentes atmosféricos sobre os terrenos (crosta terrestre) ou seja da meteorização (weathering).

A meteorização processa-se à custa da energia solar, do ciclo hidrológico (precipitação, infiltração, escoamento, retenção e evaporação), do vento e do ciclo biológico (vida animal e vegetal).

(1) - Eng^o Civil - Director Regional do L.R.E.C.

O processo de meteorização pode dividir-se em variações volumétricas provocadas por variações quer de temperatura quer de humidade, em alterações físico-químicas afectando a composição química, a coesão e a granulometria e finalmente, em erosões incluindo, a escavação, o transporte e o depósito dos terrenos erodidos.

Dos efeitos de meteorização apenas se tratará da erosão que é definida essencialmente pelo arranque e transporte de materiais. A forma como este transporte se efectua caracteriza dois tipos diferentes de erosão: erosão continental e erosão costeira.

Este trabalho ocupar-se-á sobretudo da erosão continental relacionada especialmente com estradas e obras de arte que é provocada sobretudo pelo escoamento hidrológico e pelo vento.

2.2- Erodibilidade dos Terrenos - A erodibilidade de um terreno depende em primeiro lugar da sua desagregação e em segundo lugar da sua transportabilidade pelo agente de transporte (água e vento).

A desagregação opõe-se a coesão que se poderá classificar em coesão cristalina (existente nas rochas) e coesão capilar que predomina nos solos e que tem principal origem nas forças de Van der Waals existentes entre as 3 fases constituintes.

Na natureza há porém a coesão mista como por exemplo as margas, os cascões lateríticos e alguns tufos vulcânicos.

O processo natural que conduz ao enfraquecimento da coesão e consequente desagregação dos terrenos (solos e rochas) envolve os seguintes fenómenos principais: fissuração, como consequência da rotura provocada por cargas sobrejacentes (especialmente quando estas carregam, por exemplo, um horizonte rochoso não confinado. Processo frequente nas falésias), pelas forças tectónicas e pelas variações volumétricas; trituração, esmagamento e desgaste, resultante de choques e compressões dos materiais entre si; dissolução, provocada pela circulação da água; e, finalmente, dispersão na água das partículas insolúveis.

O transporte, provocado pelo escoamento superficial, depende, por um lado, das características do escoamento - caudal, velocidade, composição do enxurro (água+material sólido em suspensão), por outro, da configuração da rede de escoamento e da natureza e humidade do terreno (dimensões, forma e peso das partículas, atrito, coesão e inclinação da superfície).

O transporte por escorregamento e por fluência é condicionado principalmente pelas variações sazonais de humidade, pela inclinação da superfície, pela natureza geológica do maciço respectivo, pela resistência ao corte das várias for

mações que constituem o maciço e variações no tempo dessa resistência e pelo regime de circulação das águas subterrâneas. Estas também poderão transportar partículas de solo através de poros e canalículos do mesmo, provocando a erosão interna.

2.3- Medição da Erosão - Como a erosão provocada pelo escoamento hidrológico é, sem dúvida, a mais importante, é dela que este estudo dedicará especial atenção.

O escoamento hidrológico pode efectuar-se superficialmente ou duma maneira subterrânea (infiltrações, percolação e circulação de águas subterrâneas) dando origem a dois tipos distintos de erosão.

No primeiro caso (escoamento superficial), e numa primeira fase, a erosão ataca a superfície do terreno numa camada relativamente uniforme designando-se por erosão laminar. A evolução deste processo faz concentrar o escoamento dando origem às linhas de água ou torrentes que provocam os sulcos, os valados e as grotas. Quando o escoamento atinge a sua última fase fluvial ter-se-á finalmente a erosão fluvial.

O segundo caso (predominância do escoamento subterrâneo) a erosão reveste-se da forma de escorregamentos, de quebradas, de fluências, da formação de caminhos preferenciais de percolação tomando a forma de canais de secção mais ou menos circular de diâmetro variável (piping) e de reentrâncias, (enfurnamentos) por vezes profundas, nos taludes ou encostas de altitude relativamente baixa (os últimos dois fenómenos estão ligados à erosão interna).

A medição da erosão faz-se normalmente pela perda do terreno medida pela espessura, pelo volume, ou pelo peso do terreno anualmente erodido.

A taxa de erosão será o cociente da perda do terreno pela precipitação.

3 - GRAUS DE EROSAO AO ESCOAMENTO HIDROLÓGICO SUPERFICIAL

Todos os solos observados nas estradas para este estudo (Angola, Açores e será assim um pouco por toda a parte) são mais ou menos erodíveis, e o seu grau de erosão não está subordinado só às características geotécnicas mas dependerá também da orografia do terreno, das obras de drenagem da estrada, da altura e inclinação do talude, do peso volúmico (baridade) do solo, da pluviosidade, etc.

Por outro lado parece haver grupos de solos de comportamento próximo. As argilas expansivas parecem ter uma erosão não muito acentuada resultante principalmente do fendilhamento durante a época seca (Angola). As argilas menos ou mesmo não expansivas seriam menos erodíveis. À medida que a granulometria se vai tornando menos fina e a plasticidade diminui, o solo vai aumentando a sua erodibilidade, até que, pelas dimensões das partículas (burgaus), é já capaz de suportar

tar o arraste provocado por águas não muito rápidas.

Parece então ter significado procurar agrupar os solos conforme a erosão observada fazendo constar as condições locais. Se existe perigo de ruína total ou parcial para a estrada, em prazo relativamente curto, a erosão foi considerada como forte. Se a erosão é visível, mas poderá ser suportada durante bastante tempo sem dano sensível para a estrada, ela foi designada como média. Nos restantes casos foi designada como fraca.

Procurou-se sobretudo caracterizar os solos fortemente erodíveis, os quais exigem grande atenção (protecção de taludes, bermas, valetas, etc.) para não ocasionarem prejuízos graves em estradas.

A forte erosão foi verificada praticamente nos solos de baixa plasticidade ($W_L \leq 21$; $I_p \leq 8$). Contudo a consideração da percentagem passada no peneiro nº 200 ASTM parece permitir completar a informação relativa às possibilidades de forte erosão (quadro I).

Em face das observações realizadas, poderão apresentar-se as conclusões seguintes:

- a)- não pode haver rigidez de classificação dos solos, quanto à erosão;
- b)- a erosão não depende só das características do solo mas também do seu grau de consolidação e ainda das condições locais (topográficas, climáticas, etc);
- c)- parece útil diferenciar os solos em três grandes grupos conforme o maior ou menor prejuízo previsível para as estradas;
- d)- a identificação dos solos que podem ocasionar graves problemas de erosão (fortemente erodíveis), pode ser facilitada utilizando a indicação do quadro I.

QUADRO I - Caracterização da Forte Erosão (limites provisórios)

Forte Erosão	Possibilidades forte erosão	Fraca possibilidade forte erosão
$WL \leq 21$; $IP \leq 8$		
$Pen. 200 \leq 20^*$	$20^* \leq Pen. 200 \leq 40^*$	$Pen. 200 \geq 40^*$

* - Percentagem passada

4 - GRAUS DE EROSÃO AO ESCOAMENTO HIDROLÓGICO SUBTERRÂNEO

Este estudo dedicou especial atenção ao escoamento hidrológico superficial e por isso não poderá apresentar conclusões neste outro tipo de escoamento. No entanto a erosão interna foi observada nos Açores em termos de "píping" nos solos pomíticos (zona das Laranjeiras nas áreas circunvizinhas da Escola Secundária em construção). O mesmo tipo de erosão em termos de enfurnamento foi observado em solos pomíticos e clinker de granulometria mais ou menos fina. No primeiro (solo pomítico) foi observado o referido enfurnamento em taludes da ER 5 - 2ª (Barrosa - Termo da Lagoa), e no Faial numa margem profunda da Ribeira dos Flamengos. No segundo (clinker) numa falésia na Ladeira de Santa Cruz das Ribeiras na ilha do Pico e na encosta da Mata da Docca (encosta a partir da qual se dá o prolongamento da pista de Ponta Delgada).

Os escorregamentos foram verificados em maciços onde existem extratos de argila de alta plasticidade (talude da Boa Vista da ER 3 - 1ª (Ponta Delgada - Ribeira Grande).

Os desprendimentos ou quebradas nas encostas marítimas é devido à existência de camadas alternantes de material brando (clinker) e do fendilhamento das próprias bancadas de basalto devido às variações de temperatura, pluviosidade, e tensão de compressão a que estão sujeitas sem estarem confinadas.

A fluência nos solos pomíticos foi verificada nos taludes dos perfismistos da zona montanhosa da estrada ER 8 - 2ª (vista do Rei - Relva). Como estes solos são muito leves (AASHO modificado oscila entre 1,2 a 1,4 gcm⁻³) e muito absorventes (conseguem ter teor em água superior ao W_L), quando se encontram saturados poderão ocasionar a sua liquefação (Hans F. Winterkorn e Hsai - Yang Fang) e conseqüente fluência através do talude como se tratasse da lava fluída.

5 - DEFESA CONTRA A EROSÃO DEVIDA AO ESCOAMENTO HIDROLÓGICO SUPERFICIAL

5.1- Generalidades - A defesa contra a erosão pode ser empreendida pelos seguintes tipos de medidas: as que procuram diminuir a meteorização em geral e o escoamento em particular e as que actuem no próprio terreno de modo a diminuir-lhe a erodibilidade.

5.1.1- Actuação na Meteorização - Os meios de que a técnica actualmente dispõe para dominar o clima e portanto os seus efeitos de alteração são extremamente reduzidos.

Por ora os revestimentos vegetais, pelo amortecimento que introduzem na evaporação, no escoamento e na insolação da superfície do terreno, assim como as cedências de água, pelas respectivas reservas de humidade e de calor (calor de

vaporização e de condensação), constituem os principais elementos suavizadores do clima.

5.1.2- Actuação no Escoamento - A actuação no escoamento, porém, já está mais ao alcance do homem.

Como antes do escoamento superficial, há o batimento da própria chuva, tem interesse definir um certo número de conceitos.

A energia disponível para a erosão toma duas formas: potencial e cinética. A energia potencial (PE) resulta da diferença em altura de um corpo relativamente a outro. Isto é, o produto da massa (m) do corpo pela diferença da altura (h) e pela aceleração da gravidade (g).

Tem-se assim $PE = m \cdot h \cdot g$ (joules)

m - Kg

h - m

g - $m \cdot s^{-2}$

A energia potencial para a erosão é convertida em energia cinética (KE). Esta energia de movimento relaciona a massa e a velocidade (V) do agente de erosão pela expressão:

$KE = 1/2 \cdot m \cdot V^2$ (joules)

m - Kg

V - $m \cdot s^{-1}$

A maior parte desta energia é perdida no atrito com a superfície sobre a qual o agente se desloca. Assim, apenas 3 a 4% daquela energia da água corrente e 0,2% da queda das gotas da chuva é dissipada na erosão (Rubey 1952 e Pearce 1976).

Considerando uma simples gota de chuva caindo sobre uma superfície de talude, a componente segundo a inclinação do talude da força dessa gota é transferida totalmente para a superfície do solo mas apenas uma pequena fracção da componente normal à superfície é absorvida sendo a restante reflectida. A transferência da força às partículas tem dois efeitos. Primeiro, proporciona uma força de consolidação, e segundo, imprime uma energia a algumas das partículas do solo de tal modo que as lança no ar. Assim as gotas da chuva são agentes não só da consolidação como também da dispersão.

Estudos laboratoriais feitos por Farms (1973) mostram que as partículas médias e grosseiras é que são mais facilmente desagregadas da massa do solo e que as partículas argilosas resistam a este desprendimento. Isto poderá resultar da energia duma gota ter de vencer a adesividade ou as forças de ligação química pelas quais os minerais que constituem as partículas de argila estão ligados (Yariv, 1976).

As características hidráulicas da corrente são descritas pelo seu número de

Reynolds (Re) e o seu número Froude (F) definidos por:

$$Re = \frac{vr}{\nu}$$

$$F = \frac{v}{\sqrt{gr}}$$

onde r - raio hidráulico

v - velocidade

ν - viscosidade cinemática da água

O número de Reynolds é um índice da turbulência da corrente e, como é óbvio, quanto maior é a turbulência maior é o poder erosivo. Segundo D'Souza e Morgan 1976, para números inferiores a 500 permanece o escoamento laminar e para valores acima de 2000 a corrente é cheia de turbulências. Quanto ao número de Froude, apenas quando este é inferior a 1,0 o escoamento é tranquilo e por conseguinte não é crítico para a erosão.

5.1.3- Actuação no Próprio Terreno - As medidas tendentes a diminuir a erodibilidade dos próprios terrenos perante o escoamento incidem na selecção de solos, dando preferência aos coesivos e de granulometria adequada. Finalmente vem a estabilização mecânica ou química de modo a formar um revestimento capaz de resistir ao escoamento.

5.2- Localização da Estrada - A implantação criteriosa dum estrada deve merecer uma atenção especial, pois, de contrário, ter-se-á uma execução e uma conservação caras.

Na implantação há vários problemas importantes a considerar relativamente à erosão, das quais far-se-á referência a três:

- estradas em linha de água ou adjacentes a elas
- estradas em inclinações severas;
- estradas inseridas em estratos de solos fortemente erodíveis;

5.2.1- Estradas em Linhas de Água ou Adjacentes a Elas - Embora seja evidente que é proibitivo implantar uma estrada numa linha de água, tem-se verificado em S. Miguel caminhos que são grotas. No entanto esses caminhos foram estabelecidos quando o transporte era hipo e por isso aceitável em certa medida. O que já não se aceita é que certos projectistas tenham integrado esses caminhos como parte da directriz da estrada que projectaram, dando origem, a estradas enterradas sem qualquer panorâmica com drenagem muito cara para fugir à erosão (caso da ER 8 - 2ª perto da Relva).

A estrada adjacente a uma linha de água já é normal e será aceitável se se tomarem as medidas convenientes. Assim, há que ter em consideração a possibili-

dade do leito do curso aprofundar-se e alargar-se com o tempo comprometendo assim a estrada por meio da erosão lateral.

Neste caso, poder-se-á indicar, como medidas preventivas: esporões da pedra nas margens, barragens cortando transversalmente o leito de modo a reduzir a inclinação do leito ou seja a velocidade da água e plantações de espécies vegetais nas margens, inclusive árvores. O desvio da linha de água é muitas vezes economicamente possível quando se trata de cursos de pouca importância.

5.2.2- Estradas em Inclinações Severas - Como as ilhas deste arquipélago são geralmente acidentadas, é frequente as estradas terem inclinações severas fugindo muitas vezes à inclinação máxima aceitável e à extensão máxima aconselhável para os trainéis.

A solução mais aconselhável para as estradas nestas condições é a do revestimento quer da plataforma, quer das valetas.

O pavimento de betão de cimento nestes casos é a solução ideal embora, actualmente, tenha voltado a ser uma execução cara. Isto não invalida que continue a ser a solução mais barata a longo prazo.

Enquanto a estrada for térrea, convirá respeitar sempre o princípio de afastar as águas da estrada o mais rapidamente possível. Para este efeito julga-se conveniente aumentar a flecha transversal da faixa de rodagem a fim da água correr de preferência para as valetas do que no sentido longitudinal da estrada, transformando-a no leito dum rio.

Faz-se notar que uma flecha exagerada também provoca rilheiras transversais profundas que são bastante incomodativas para o trânsito.

5.2.3- Estradas Inseridas em Estratos de Solos Fortemente Erodíveis - É evidente que é de evitar que uma estrada atravesse ou permaneça num estrato de solo fortemente erodível, mas também é certo que muitas vezes todo o maciço é constituído pelo mesmo solo de forte erosão.

Nestas circunstâncias, teremos de aceitar o único solo existente tomando as precauções que se impõem que serão citadas adiante. Poder-se-á adiantar que o revestimento é uma medida aconselhável

Em Angola são abundantes e típicos pela sua erodibilidade os solos seguintes: solo muceque (solo areno-argiloso, N. P., com 17 a 20% de partículas passadas no peneiro nº 200 ASTM, compactação AASHO modificado 1,80 a 2,00 gcm⁻³ e teor óptimo em água cerca de 8 a 10%) e areias do calaari.

Em S. Miguel, pelas mesmas características, poder-se-á citar os solos pomíticos (solos silto-arenosos, N. P., com cerca de 24% passado no peneiro nº 200 ASTM, classificação AASHO A 1-b (0), compactação AASHO modificado 1,30 a 1,46 gcm⁻³ e com teor em água óptimo de 27%) e os tufos vulcânicos existentes no cami

nho das Caldeiras da Ribeira Grande depois de revolvidos do seu estado natural (solos silto-arenosos, N. P. com cerca de 19% de partículas passadas no peneiro nº 200 ASTM, com a classificação AASHO A 1-b (0) e com coesão e ângulo de atrito interno, segundo o método proposto por T. Mirata, de $c = 0,24 \text{ Kgcm}^{-2}$ e $44,6^\circ$ respectivamente). Estes tufos vulcânicos no seu estado natural apresentam-se muito compactos. Esta compactidade aliada ao seu elevado ângulo de atrito interno permite que estes solos se mantenham estáveis em taludes verticais de grande altura.

5.3- Valetas - A água das chuvas que cai nos taludes e plataformas das escavações são recolhidas pelas valetas de secção triangular ou trapezoidal que são abertas nos lados da estrada, entre a berma e o sopé do talude. Em S. Miguel por razões económicas, a valeta fica muitas vezes entre a faixa de rodagem e o sopé do talude.

Em Angola as valetas eram geralmente não revestidas. Só se adoptava o revestimento quando a inclinação do trainel era superior a 6% ou quando o solo era fortemente erodível.

Em S. Miguel, regra geral, as valetas são revestidas em virtude do terreno ser muito acidentado.

Quando um aterro for executado com solo erodível, é aconselhável revestir as bermas (caso existam) e fazer valetas nos dois lados extremos da faixa de rodagem, como se tratasse duma escavação, de modo a recolher as águas caídas na plataforma da estrada (evitando que escoam pelos taludes), e conduzi-las para descarregadores transversais executados no talude do aterro ou para aquedutos. Se não houver este cuidado e se os taludes não estiverem convenientemente protegidos, corre-se o risco das águas pluviais danificarem a estrada com cortes transversais profundos.

Em Angola, em que não havia problemas de expropriações, reduzia-se a erosão alargando as valetas de terra e plantando espécies vegetais no fundo. De facto, sabendo que $V = C \sqrt{Ri}$, em que:

V - velocidade da água

C - coeficiente dependente da natureza das paredes do canal

R - raio hidráulico

i - inclinação

Desejando diminuir a velocidade para R e i sensivelmente constantes, convi-
rá diminuir C.

O coeficiente "C", segundo a fórmula de Kutter, tem o valor, $C = \frac{100\sqrt{R}}{\eta + R}$, verifica-se que, em canais de terra com vegetação o " η " chega a tomar o valor 2,00 (um dos mais altos valores que pode tomar).

* Ver Bol. Nº 4871 do LREC da autoria do Engº Sousa Raposo.

Fazer valetas significa concentrar águas e significa concentrar o poder erosivo destas. Assim, terá que haver grande atenção no processo de descarregá-las.

5.4- Taludes

5.4.1- Tipos de Erosão - Há que considerar os taludes em trincheira e os em aterro. Em ambos podem surgir os acidentes isolados ou combinados seguintes:

- Erosão laminar
- Fluência (ligado ao escoamento subterrâneo)
- Escorregamento (ligado ao escoamento subterrâneo)
- Erosão interna (ligada ao escoamento subterrâneo)

5.4.2- Erosão Laminar

a)- Taludes em trincheira - Neste tipo de talude poder-se-á adoçá-lo, rasgar uma vala da crista (esta por vezes é condenável caso não seja revestida ou dê origem a empoçamentos) ou cortar o talude com várias plataformas de amortecimento de queda de água. Nestes taludes quando o solo é pedra pomes onde dificilmente nasce qualquer espécie vegetal tem-se projectado uma calda de cimento.

Na falta da máquina de projecção tem-se aplicado esta calda por derrame de cima para baixo ou mesmo a pincel.

Na E.R. 3 - 1ª (Ponta Delgada - Ribeira Grande) utilizou-se solo - cimento (cerca de 10% de cimento em peso numa camada de cerca de 10 cm) no talude em trincheira da Boa Vista depois de dar-lhe a forma estudada para a sua estabilização.

Este talude inicialmente escorregou tendo provocado um acidente grave.

O escorregamento deveu-se à existência, no maciço de solos pomíticos, de argilas de alta plasticidade.

A aplicação do solo-cimento com todos os seus inconvenientes de ordem estética, deve-se à circunstância de ter surgido um inverno rigoroso logo após a sua execução definitiva, o que provocou erosões fortes nalgumas zonas do talude.

Para suavizar o aspecto geral, abriram-se uns rectângulos no solo - cimento onde se introduziu terra vegetal de modo a quebrar a nudez a que ficaria condenado o talude.

Além destes rectângulos introduziram-se tubos com drenos internos a fim de não se criarem pressões hidrostáticas no tardoz da camada de solo - cimento.

b)- Taludes em aterro - Neste tipo de talude, o combate à erosão, além da possibilidade de adoçá-lo, é feito normalmente a partir dum recobrimento com espécies vegetais apropriadas (aconselha-se espécies indígenas) ou concentrando e descarregando por meio de descarregadores as águas pluviais caídas na plataforma

ma, ou ainda combinando os dois processos. Tal como nos taludes em escavação, também se usam as plataformas de amortecimento da velocidade de escorrimento das águas pluviais espaçadas de 8 m.

Em S. Miguel também se tem evitado a erosão de taludes em aterro com solo melhorado com cimento (cerca de 5% de cimento em peso numa espessura de cerca de 10 cm). Este processo, como evita o crescimento de espécies vegetais é desagradável por dar um aspecto de chapadão.

Na E. R. 5 - 2ª (Barrosa) foi aplicado solo melhorado com cimento num talude de aterro por se julgar que este não dava nas vistas. Mais tarde verificou-se que este talude era visível da Ribeira Seca pois que constataba bastante com o verde acastanhado da montanha. Com o intuito de atenuar este efeito, fêz-se uma pintura de camuflagem mas, passados dois anos, criou-se um musgo que desempenhou uma camuflagem perfeita.

Nas E. R. 5 - 2ª e 8 - 2ª adoptaram-se taludes $2/3$ (2 na vertical e 3 na horizontal) em aterros com plataformas de amortecimento de 1 m de largura intervaladas de cerca de 8 m.

Quando a saia do aterro não pode ultrapassar um certo limite (devido a uma linha de água, por exemplo), poder-se-á conjugar as plataformas com cortinas de suporte conseguidas através de estacaria (neste caso convirá plantar criptomérias para substituírem as estacas quando estas apodrecerem) ou placas de betão armado pré-fabricadas e ancoradas (isto para não agravar a inclinação do talude). (Ver fig. nº1)

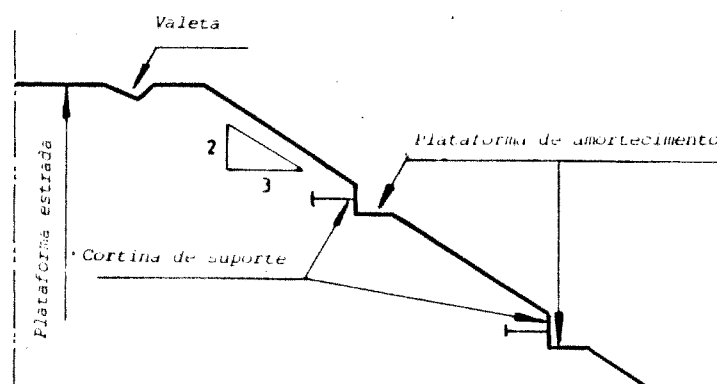


Fig. 1 Estabilização do Talude em aterro

c)- Protecção das sementeiras - Embora esta seja mais frequente nos taludes em aterro também poderá ser adoptada nos taludes em escavação. Nestes, para

se usar uma protecção por sementeira, dever-se-ia começar por adoçar o talude de $3/2$ para $2/3$ (2 na vertical e 3 na horizontal). Há países que semeiam estes taludes a partir de jactos de água misturada com sementes.

Quer em Angola quer nos Açores só se tem protegido taludes em aterro porque estes, ficando mais soltos (menor baridade) do que os taludes em escavação, ficam mais sujeitos à erosão.

Antes de proceder-se à sementeira convém adubar o solo. A semente uma vez lançada à terra convirá ser protegida do seu arraste pela chuva. Há vários métodos para protegê-la.

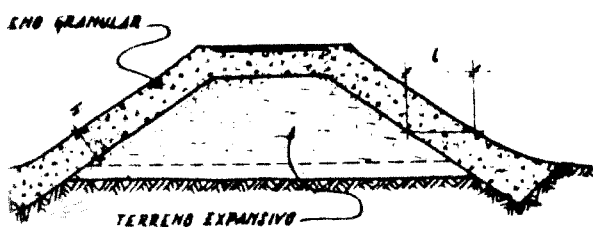
Poder-se-á adoptar a fachineira que consiste em colocar sobre o terreno ramagens de arbustos ou árvores (na falta de palha de trigo) e fixá-las. Este processo é muito usado com bons resultados.

Nas zonas altas e portanto frias e onde não há cuidados com o aspecto estético, poder-se-á usar uma rega de betume asfáltico ou de emulsão (esta de preferência por poder ser aplicada a frio e não afectar a semente). O preto do betume absorve calor e as sementes germinam mais rapidamente.

Nas zonas em que o aspecto é importante poder-se-á usar o "curassol" (produto alemão) pulverizado que, em contacto com a terra, forma uma película incolor plástica que não evita a germinação da semente.

5.4.3- Fluência - Este fenómeno foi verificado em taludes de solos expansivos em Angola e em talude de aterro de solos pomíticos na E. R. 8 - 2ª em S. Miguel.

Nas figuras nºs 2 e 3 apresentam-se soluções para solos expansivos.



2 - Aterro com Espalda de Protecção

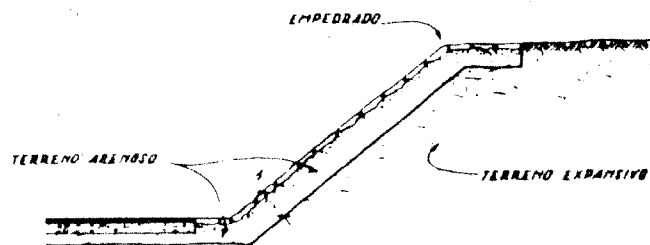


Fig. 3 - Trincheira com Revestimento de Protecção

Quanto aos solos pomíticos conseguiu-se evitar a fluência nos taludes em

aterro a partir da conjugação da sementeira, da plantação de rizomas nas curvas de nível, da execução de plataformas de amortecimento, da execução dum fina película do solo - cimento superficial (conseguida a partir do espalhamento de cimento sobre a terra e do ataque posterior desta com sachos), da cravação de estacaria e, em casos difíceis, com contenção destes solos a partir dum muro de espera munido de barbacãs e dreno no tardo do muro munido de geotextil.

Embora não haja experiência, admite-se que a fluência dos solos pomíticos também possa ser evitada a partir da solução apontada para os solos expansivos.

Como no Arquipélago há muitas escórias vulcânicas a camada de recobrimento indicada na fig. nº 2 seria daquele material.

5.4.4- Escorregamento - Estes escorregamentos são mais frequentes em taludes ou encostas de solos argilosos, mas podem também ocorrer em taludes de rocha.

a)- Taludes de solos argilosos - Muitos solos argilosos abrem fendas bastante profundas como resultado da variação de humidade sazonal.

Esta fendilhação tem como resultado uma grande redução na resistência mecânica do maciço terroso ao qual pertence um determinado talude.

A água das chuvas penetrando nas fendas referidas pode alcançar as zonas mais críticas de escorregamento do maciço, tornando-o instável.

Quando há um escorregamento, o maciço tende a estabilizar normalmente por si próprio, pelo menos, temporariamente, em virtude do novo ângulo do talude ser mais favorável.

Se no sopé do talude houver um curso de água que vai continuamente erodindo as terras caídas, então o maciço manter-se-á instável.

Estes movimentos de terras põem em perigo, muitas vezes, aquedutos, pontes e trechos de estradas.

Em escorregamentos graves, em que a estrada passa por cima do maciço, convirá estudar a possibilidade de fazer-se uma variante de modo a afastar a estrada do acidente. Se o escorregamento é num talude em trincheira dum estrada, convirá estudar o perfil de estabilidade a dar ao talude.

Em escorregamentos em potencial de grande porte, regra geral, não vale a pena pensar-se em soluções estruturais de suporte pois que estas são caras e podem falhar.

Nestes casos é preferível procurar estabilizar a área em escorregamento combinando a vegetação com várias técnicas (o adoçamento da inclinação será sempre uma delas).

Expõe-se a seguir vários métodos de defesa de escorregamento em taludes de trincheira e de aterro.

No primeiro caso (taludes em trincheira) indicam-se as técnicas seguintes:

i)- No topo do escorregamento deve ser construído um alto camalhão que sirva de barreira às águas que correm das zonas mais altas e proteger a área abatida.

Drenar toda a água empçada sobre a área afectada. Estabelecer um sistema de drenos para reduzir a água de percolação nesta mesma área;

ii)- Plantar espécies vegetais, incluindo, árvores a fim de reduzir a humidade do maciço. As próprias raízes profundas poderão estabelecer uma ligação entre as duas superfícies em escorregamento. A utilização de paredes de retenção para resistir aos escorregamentos não são muito recomendadas pois que se preferem medidas tendentes a controlar o movimento do que as destinadas a impedi-lo. No entanto, apresentam-se nas figuras 4, 5, 6 e 7 várias medidas a impedir o movimento.

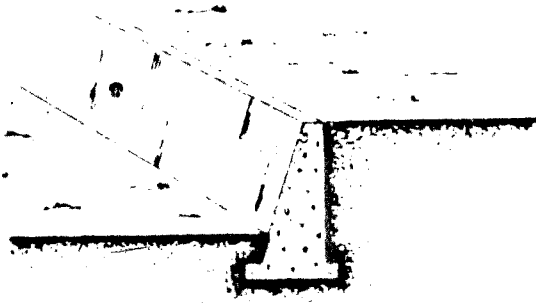


Fig. 4 - Muro de Suporte

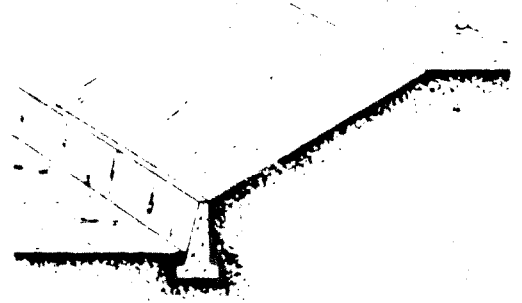


Fig. 5 - Muro de Espera

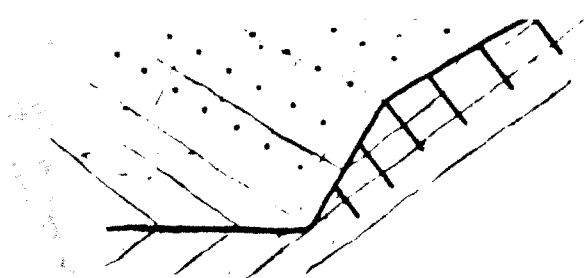


Fig. 6 - Cravação em Rochas Estratificadas

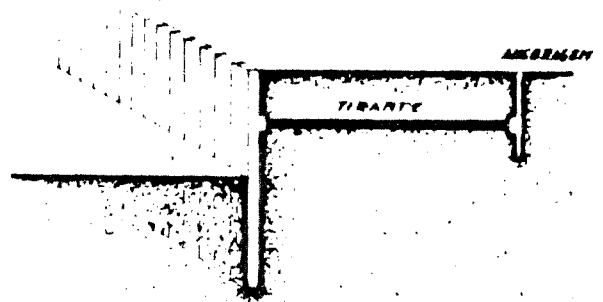


Fig. 7 - Cortina de Suporte de Estacas - Pranchas Atirantadas

No segundo caso (taludes em aterro) indicam-se as técnicas seguintes:

i)- Quando a causa do escorregamento está na drenagem que é deficiente esta deve ser melhorada, de modo a que a água seja afastada do local do acidente.

ii)- Como não é aconselhável a plantação de árvores nos lados da estrada, convirá plantá-las em cortina no sopé do escorregamento;

iii)- Quando houver um curso de água no sopé do aterro que erude as terras corregadas, convirá fazer uma barragem de desvio das águas.

Em S. Miguel as inclinações adoptadas para os taludes em trincheira e em a terro são de $3/2$ (3 na vertical e 2 na horizontal) e $2/3$ (2 na vertical e 3 na horizontal) respectivamente.

Acontece que se têm verificado escorregamentos apenas em taludes em trin- cheira. Esta circunstância deverá alertar os projectistas para não imporem para este tipo de talude uma inclinação única.

Assim, ou se faz um estudo do solo a fim de se adoptar a inclinação compa- tível com as suas características geotécnicas ou então, na ignorância, adopta-se a mesma inclinação usada nos aterros.

b)- Taludes de rocha - A instabilidade dos taludes de rocha nos cortes ve- rifica-se nos estratos sedimentares e o escorregamento dá-se nas superfícies de estratificação. Tais superfícies de estratificação são geralmente vistas no talu de e podem dar origem a um escorregamento se o ângulo que os planos de rotura fa- zem com a horizontal se aproxima do ângulo de derrubamento.

O escorregamento é facilitado pela acção da humidade que tem um efeito lu- brificante entre as superfícies de estratificação.

A solução mais satisfatória para resolver o problema é reduzir a inclinação do talude. Como esta solução é por vezes bastante onerosa, poder-se-á construir nas margens da estrada muros verticais de retenção com a finalidade de reter a quantidade de material instável, que pode escorregar. Poder-se-á também abrir fu- ros ou valas em ângulo recto com os planos de rotura e enchê-los com betão arma- do.

5.4.5- Erosão Interna - Este tipo de erosão apareceu, como já foi referido, na E. R. 5 - 2ª (Barrosa - Terreno da Lagoa) na zona dos lacetes.

Na última trincheira dos lacetes as águas de percolação vindas da montanha encontraram estratos muito permeáveis de pedra pomes o que lhes imprimiu uma ve- locidade de escoamento subterrâneo apreciável. Estas águas brotaram no talude de cota mais baixa formando um enfurnamento que comprometia todo o maciço onde se desenvolviam os lacetes.

Como solução executou-se uma camada de encosto ao talude de solo -cimen- to com a espessura de cerca de 0.50 m munido de barbacãs para o escoamento das

referidas águas.

5.5- Obras de Arte

5.5.1- Tipos de Obra de Arte - Como os aterros de uma estrada não devem ser vir de barragem às águas pluviais caídas numa bacia hidrográfica num dos lados da estrada, haverá que projectar obras de arte convenientemente dimensionadas de modo a darem vazão ao caudal proveniente da referida bacia, permitindo assim que as águas continuem a correr normalmente através da sua linha de água.

De acordo com o caudal que há a escoar, assim teremos de projectar aquedutos pontões ou pontes por ordem crescente da secção de vasão.

Referir-nos-emos apenas aos aquedutos e pontões por serem estes os mais usados no Arquipélago.

5.5.2- Aquedutos - Os aquedutos mais utilizados são de secção rectangular e circular (também se têm construído em Angola de secção ogival). Os primeiros têm a soleira e os pés direitos em alvenaria ou betão e a cobertura geralmente em betão armado. Os segundos podem ser de betão armado ou em ferro galvanizado (tubo Armco).

Os aquedutos de betão terão uma duração eterna e os em tubo Armco terão uma vida de cerca de 30 anos.

Em Angola optava-se muito pelo tubo Armco pela facilidade de montagem e por ser um tubo com muita flexibilidade sendo por isso próprio para assentar em terrenos pouco firmes.

Quanto à limitação da vida do tubo Armco a fábrica defende que ao fim de 30 anos a estrada está obsoleta em face das novas exigências do tráfego.

Ao projectar um aqueduto haverá que atender ao caudal de máxima cheia para o cálculo da secção de vasão. Caso contrário, compromete o aterro.

Esta secção de vasão, em S. Miguel, não poderá ser satisfeita por baterias de aquedutos pois que as linhas de água são as lixeiras dos lavradores e assim, como as enxurradas trazem muita lenha, a abertura do aqueduto deverá ser a maior possível para que os paus e lixo não formem barragem à entrada do aqueduto.

A implantação do aqueduto também deve merecer especial atenção. A direcção do eixo do aqueduto que o torna mais económico é a que é normal ao eixo da estrada. Por vezes o curso de água não segue esta direcção mas, neste caso, é geralmente preferível regularizar o leito do curso de água a fim desta não provocar erosões desastrosas no corpo do aterro e implantar a obra de arte segundo a quela direcção.

Os muros da ala das bocas em talude dão grande protecção às saias de aterro. Convirá, no entanto, que aqueles muros façam um ângulo de $120^{\circ} 30'$ com o eixo do aqueduto.

A cota de trabalho do aterro deve estar compatível com o diâmetro ou a altura do aqueduto.

Em Angola adoptava-se como diâmetro mínimo 0,80 m para permitir a limpeza no interior do aqueduto.

No entanto, se a cota de trabalho for demasiado exígua que obrigue a enterrar o aqueduto, este tenderá a assorear rapidamente até ao nível do terreno natural se a inclinação do terreno for pequena. Este assoreamento pode diminuir francamente a secção de vasão do aqueduto, o que pode ser bastante prejudicial se a secção do aqueduto não estiver por excesso. Por outro lado se a soleira do aqueduto ficar sobre - elevada em relação à linha de água, pode dar-se infra-escavações por debaixo do aqueduto.

Quanto à inclinação da soleira do aqueduto, esta deve ter uma inclinação de 1 a 3%. Maiores inclinações do terreno natural deverão exigir a execução de degraus ou ressaltos na soleira do aqueduto.

5.5.3- Pontões - Se o leito de água apresenta uma inclinação muito acentuada convirá executar uma soleira. Esta, por vezes deverá ficar em plataformas a diferentes níveis formando degraus. Este tipo de pontão é corrente nas estradas de montanha a meia encosta (perfis mistos). Quando o pontão for projectado sem soleira e se verifica que há perigo de haver infra -escavações junto às fundações, aconselha-se a construir muros de betão ou de alvenaria, de fundação a fundação dos encontros do pontão. Estes tipos de soleira podem ser observados nos pontões da estrada Noqui - M'Pala (Angola).

5.6- Linhas de Água - O tipo de defesa contra a erosão nas linhas de água naturais é aplicável também à água que sai dos aquedutos e que poderá provocar fortes erosões se se não tomar medidas convenientes.

Poder-se-ão indicar os tipos de defesa seguintes:

- a)- Revestimento da linha de água com betão ou solo - cimento plástico.
- b)- Estabelecer barragens com descarregador no leito da linha de água por meio de betão ciclópico, de gabions, de sacos de solo - cimento, etc. de tal maneira que o desnível entre o sopé dum descarregador de montante e a soleira do descarregador seguinte de juzante dê uma inclinação ao leito para a qual a velocidade da água não provoque erosão do fundo (esta inclinação para solos ronda os 1%). Quando a erosão também é lateral, usa-se muito a defesa das margens a partir dos gabions.

Em S. Miguel não se tem usado os gabions porque a rede para a sua fabricação é muito cara.

6 - DEFESA CONTRA A EROSAO AO ESCOAMENTO HIDROLÓGICO SUBTERRÂNEO

A defesa contra esta erosão já foi tratada, por uma questão de sistematização, na alínea 5.4 "Taludes" quando se pretendia focar a erosão causada pelo escoamento superficial.

Nesta conformidade, agora só se fará referência ao fenômeno de "piping" (erosão interna) observado na área das Laranjeiras Junto à Escola Secundária em construção em Ponta Delgada.

Nesta área verificou-se uma bancada basáltica com uma camada de solo pomítico de espessura apreciável sobrejacente àquela.

A montante desta área há uma grande bacia hidrográfica com montanhas como pano de fundo.

As águas retidas nesta bacia infiltram-se por gravidade na camada de solos pomíticos e perculam para juzante.

Ao encontrarem caminhos preferenciais correm com maior velocidade carreando finos e formando canais que se transformam em tuneis e que dão origem a assentamentos superficiais apreciáveis

É evidente que este fenômeno poderia provocar danos significativos na área da Escola (arruamentos, pátios, tubos de saneamentos, pavimentos assentes sobre o solo natural, etc.).

Como solução preconizou-se uma vala cortando toda a camada pomítica que ser visse de dreno enchendo-a de material granular grosso com geotextil no lado mon tante da vala.

Exigiu-se que o fundo da vala tivesse uma inclinação única e que a água fos se convenientemente caminhada para um esgoto.

BIBLIOGRAFIA

- Estudo das Soluções mais Convenientes para Problemas de Erosão Continental (1º Relatório) LNE - 1958 Santos, Pimentel e Castro, E - Soil Erosion in Rouds, Proc. ICSMFE Monterreal, Canadá, 1965.*
- Turner, A. K. (Austrália) - The Control of Roadside Erosion, Overseas Bulletin nº 17, Road Research Laboratory 1963*
- Meireles, J. M. F. - Erosão de Taludes de Estradas, 2ªs Jornadas Luso - Brasileiras de Engenharia Civil, 1967*
- Meireles, J. M. F. - Erosão e Processos de Defesa. Aparentamentos Didácticos dados na Cadeira de Vias de Comunicação da Universidade de Luanda, 1963*
- Morgan, R. P. C. - "Topic in Applied Geography Soil Erosion"*