

TERRA ARMADA

TERRE ARMÉE

FAUSTINO VALERO⁽¹⁾ / CARLOS ALBANO FERREIRA*⁽²⁾

A TECNOLOGIA E A EMPRESA

Vantagem técnica e considerável economia, são a realidade comprovada por milhares de obras realizadas nos últimos 21 anos, em todo o mundo, com a aplicação da tecnologia "Terra Armada".

Inventada pelo Engenheiro e Arquitecto francês Henri Vidal, e fornecida por uma rede internacional de empresas licenciadas pelo inventor, - em Portugal a TERRA ARMADA LDA - esta tecnologia encontra as suas principais aplicações na construção de encontros de pontes, passagens desniveladas, muros de suporte, inundáveis ou não, silos subterrâneos, etc.

Ao utilizar com principais componentes, a terra, que aqui é parte integrante da obra, armaduras de alta aderência de aço galvanizado, e placas de betão pré-fabricadas, "escamas" como paramento externo, a "Terra Armada" tira partido das forças de atrito que se desenvolvem no contacto terra-armadura, produzindo um maciço armado resistente a esforços estáticos ou dinâmicos.

Utilizando métodos específicos de cálculo e trabalhando em estreita colaboração com projectistas, consultores e empreiteiros, a TERRA ARMADA LDA, desde a concepção do projecto, até à assistência técnica durante a construção, passando pelo fornecimento de todos os componentes da tecnologia, presta em todas as etapas os serviços profissionais necessários.

De aspecto estético muito agradável, de execução rápida, sem necessidade de mão de obra especializada na sua montagem, e eliminando os altos custos de fundações profundas, a "Terra Armada" é hoje aceite universalmente pelos organismos e empresas privadas como uma solução já considerada clássica.

LA TECNOLOGIE ET L'ENTREPRISE

L'avantage technique et économique sont considérables à cause de la réalité dans les derniers 21 ans, dans tout le monde l'application de la technologie est "Terre Armée".

Inventée par l'Ingénieur et Architecte français Henri Vidal et distribuée par un réseau international d'entreprises licenciées par l'inventeur, au Portugal TERRA ARMADA LDA, cette technologie rencontre ses applications dans la construction de rencontres de ponts, passages sans niveau, murs de support, inondables ou non, silos sans-terrain, etc.

Utilisant comme principaux composants, la terre, que dans ce cas est partie intégrante de l'oeuvre, armures d'haute adhérence en acier galvanisé, plaques de béton préfabriquées, comme couverture externe, "TERRA ARMADA" prends parti des forces du contact qui se développe avec

la terre armée produisant un massif armée qui résiste à des effets statiques ou dynamiques.

Utilisant des méthodes spécifiques de calcul et travaillant en étroite collaboration avec des architectes, consultants et entrepreneurs "TERRA ARMADA LDA", depuis la conception du projet, jusqu'à l'assistance technique pendant la construction, prête à toutes les étapes les services professionnels nécessaires.

Avec un aspect esthétique, très de qualité agréable, d'exécution rapide, sans besoin de main d'œuvre spécialisée dans le montage éliminant les frais des fondations profondes, "TERRE ARMÉE" est aujourd'hui acceptée universellement par les organismes officiels et entreprises privées comme une solution déjà considérée classique.

*

(1) - Director Técnico da Terra Armada e Portuguesa

(2) - Director Geral da Terra Armada Portuguesa

1. INTRODUÇÃO

Decorreram já 21 anos desde a construção pelo seu inventor, HENRI VIDAL da primeira obra em "terra armada" em Pragnere (França - 1964).

Ao longo de todos estes anos, esta tecnologia expandiu-se por todo o mundo, sendo actualmente bem conhecida e utilizada como uma alternativa, certamente peculiar, dentro do campo de opções que se apresentam à engenharia seja ao nível do projecto seja da execução em obra.

A comprová-lo estão as mais de 77.500 obras em "terra armada" espalhadas pelos 5 continentes, o que prefaz um total de mais de 4.500.000 m² executados.

Vamos assim, numa exposição que evidentemente não pode ser exaustiva, tentar esboçar algumas das características que identificam esta tecnologia.

2. PRINCIPIOS, COMPONENTES E TECNOLOGIA

A concepção da "terra armada" está baseada no aproveitamento do atrito entre a terra e as armaduras, formando ambas o coração que permite o funcionamento do sistema.

A estes elementos básicos junta-se outro, importante do ponto de vista construtivo, mas secundário quanto ao comportamento profundo do material, mas que paradoxalmente, constitui a única parte visível do exterior e a que se chama, figurativamente falando, de "escamas". (Fig 1)

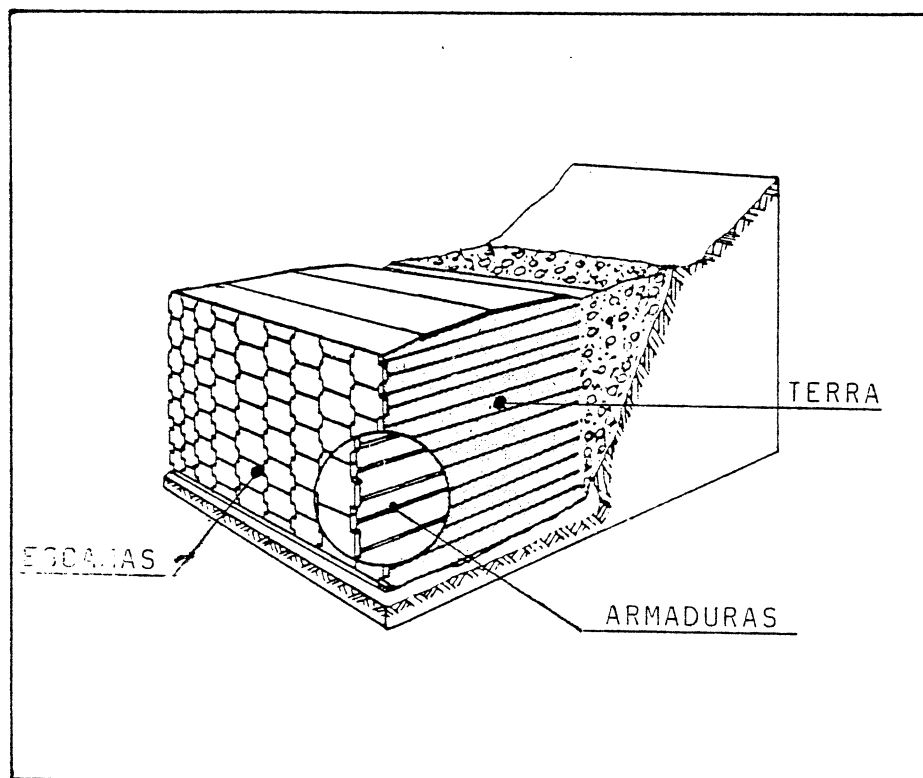


Fig. 1

O atrito entre terra e armaduras, põe em tracção estas últimas, provocando no material composto uma coesão que é proporcional à densidade e resistência das armaduras, o que permite o dimensionamento da estrutura para os esforços requeridos. (Fig 2)

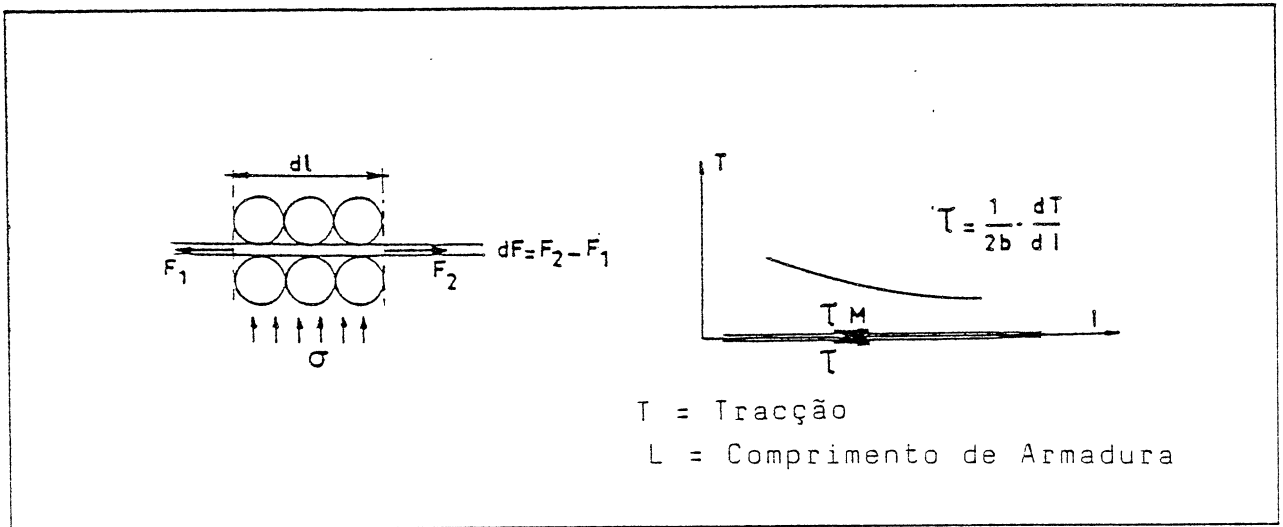


Fig. 2

2.1 TERRA

Parece claro, que um dos princípios que se deve exigir do material de aterro a utilizar no maciço "terra armada" é que o seu atrito com as armaduras seja razoável.

De forma genérica, este deve ser procurado entre as terras cujo conteúdo em argila não seja excessivo.

Concretizando as características mecânicas procuradas, pode-se estabelecer como indicador um quadro que resume o conjunto de critérios práticos que permitem analisar o emprego de um material de aterro para o maciço "terra armada" (Fig 3).

A) CRITÉRIO MECÂNICO

Passa a 80 \$\mu\$	\$\leq 15\%\$	VÁLIDO		
	\$> 15\%\$	Passa a 15 \$\mu\$	\$\leq 10\%\$	VÁLIDO
			10 %	\$\psi > 25^\circ\$ VÁLIDO
			20 %	\$\psi \leq 25^\circ\$ NÃO VÁLIDO
			\$> 20\%\$	NÃO VÁLIDO

Fig. 3

- O angulo de atrito interno φ , é medido, em ensaio de corte directo, sobre uma amostra consolidada e saturada, com uma velocidade de corte de 1 mm/min.

- O critério de exclusão das terras com mais de 20% de passagem aos 15 μ não é definitivo.

Se se suspeita de uma potencial agressividade da terra no que respeita às armaduras, deve medir-se as suas características quanto a este factor, o que pode ser resumido no seguinte quadro (Fig 4).

B) CRITÉRIO ELECTROQUÍMICO	
- R	$\left\{ \begin{array}{l} > 1000 \Omega\text{-cm} \text{ OBRAS EM SECO} \\ > 3000 \Omega\text{-cm} \text{ --- INUNDÁVEIS} \end{array} \right.$
-	$5 < PH < 10$
- $SO_4^{=}$	$\left\{ \begin{array}{l} < 1000 \text{ p.p.m. OBRAS EM SECO} \\ < 500 \text{ --- --- INUNDAVEIS} \end{array} \right.$
- Cl^-	$\left\{ \begin{array}{l} < 200 \text{ p.p.m. OBRAS EM SECO} \\ < 100 \text{ --- --- INUNDÁVEIS} \end{array} \right.$

Fig.4

2.2 ARMADURAS

Fabricadas em aço laminado a quente, seguido de banho de galvanização, com dentes transversais nas duas faces para uma melhor tracção com as terras elas são um dos elementos fundamentais da "terra armada".

As suas características mecânicas, a sua durabilidade, pouca deformação, assim como razões económicas e a larga experiência que já existe no seu emprego, são os factores principais que aconselham a continuação do seu emprego contra outras soluções cujo comportamento mecânico e previsão de envelhecimento são a longo prazo ainda uma incógnita.

As armaduras têm uma espessura de 4 a 5mm, uma largura de 40 a 50mm e um comprimento a determinar em função das características da obra.

A sua união ao paramento ("escamas") efectua-se por parafusos de alta resistência também galvanizados. (Foto nº 1)

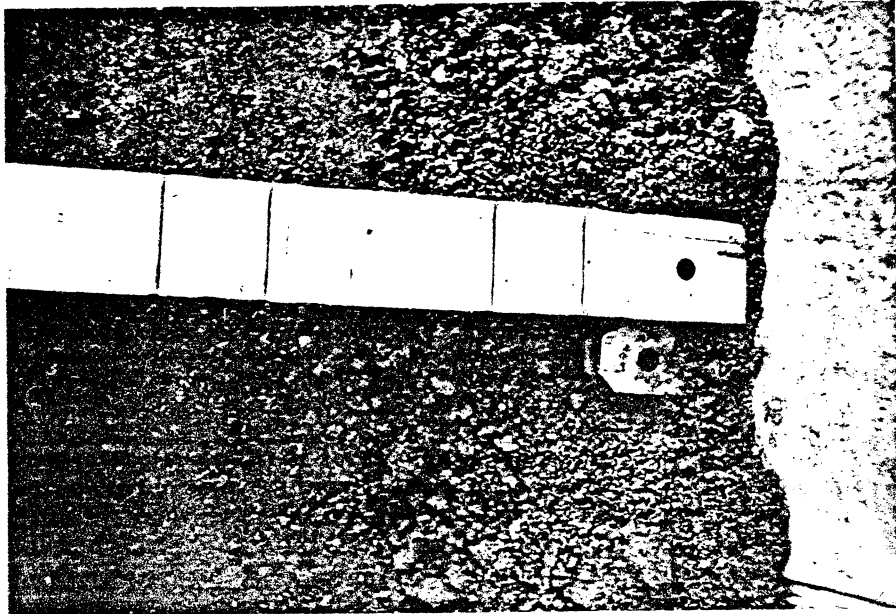


Foto 1

2.3 "ESCAMAS"

Os primeiros paramentos utilizados foram metálicos. Consistiam num perfil semi-elíptico de 3mm de espessura em aço galvanizado e a sua principal virtude residia na sua enorme flexibilidade.

A partir de 1971 começou a utilização de um novo tipo de paramento; as "escamas" de betão, cujo aspecto estético, mais de acordo com o usual em obras públicas, se impôs com rapidez e constitui já a solução adoptada na grande maioria das estruturas.

A geometria da "escama" é cruciforme, e a sua espessura de 18 ou 14cm (Fig 5).

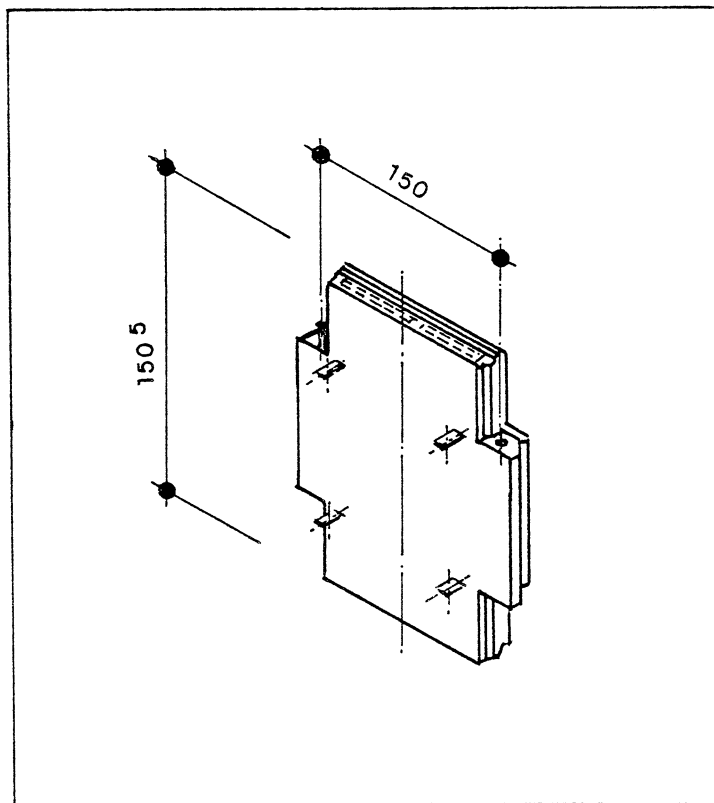


Fig. 5

A flexibilidade deste parâmetro consegue-se evitando uma união rígida entre as "escamas".

Com efeito, cada painel actua suportado pelas suas armaduras e de forma praticamente independente dos restantes.

O seu sistema de tubo de plástico e barra metálica galvanizada que contém, serve de guia para a montagem, deixando-lhe ainda suficiente mobilidade quando enquadrado com as outras "escamas" vizinhas.

Acresce que o assentamento de cada "escama" produz-se sobre juntas elásticas de expacorck o que permite os movimentos verticais sem contacto rígido entre betões. (Fig 6)

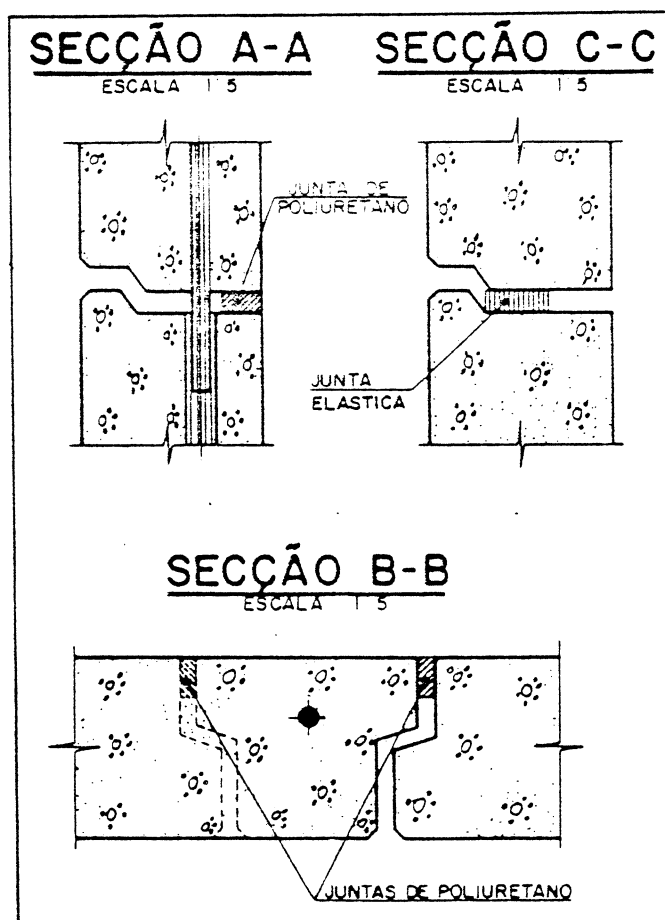


Fig. 6

A capacidade de adaptação a deformações importantes na cimentação é por isso muito grande. Constatou-se em obras realizadas assentamentos diferenciais com uma pendente muito próxima dos 2% sem produzir danos nas "escamas".

A função de drenagem local do paramento fica assegurada pela junta aberta entre as "escamas", utilizando-se espuma de poliuretano para evitar o escape dos finos da terra do maciço "terra armada".

2.4 MONTAGEM E GEOMETRIA EXTERIOR

A montagem da "terra armada" inicia-se sobre uma pequena soleira de regularização que assegura a perfeita colocação da primeira fila de "escamas".

Uma vez nivelada esta fila, estende-se no seu tardoiz uma camada de terras de 37,5cm, compacta-se e coloca-se uma fila de armaduras.

O restante é um ciclo repetitivo de colocação de "escamas", terra e armaduras. (Fotos 2 e 3)

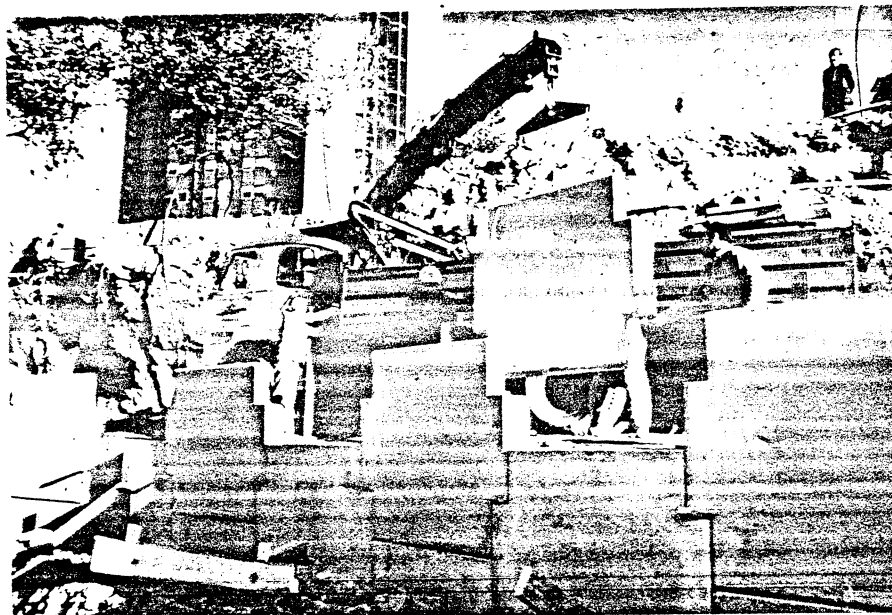


Foto 2



Foto 3

Sem entrar em detalhes quanto a técnica da montagem, como seja a utilização das cunhas, gatos, pés de cabra, verticalidade e nivelamento dos painéis que se tornariam fastidiosos, pode-se no entanto fazer alguns comentários sobre aspectos gerais desta operação.

Em primeiro lugar, e no que se refere à atitude por parte do pessoal da obra, a experiência indica que o pior inimigo da montagem de uma estrutura em terra armada é a pressa com a consequente falta de observância de cada um dos detalhes indicados nas Instruções.

Sendo a operação extremamente simples e porque cresce a olhos vistos, há no entanto que ter um espírito que aconselhe o "cuidado do detalhe" pois só assim se consegue um produto final bem alinhado e com altos rendimentos.

É para todos evidente que a densidade da terraplanagem influenciou directamente no atrito entre terra e armadura, e portanto a compactação é importante, aparte de que é a única maneira de evitar deformações diferenciadas do maciço incompatíveis com a superestrutura (tabuleiro).

Assim, e a excepção da zona de 1 a 1,50m próxima do paramento, onde se deve evitar o uso de cilindros pesados, toda o restante maciço deve ser bem compactado, não se exigindo no entanto mais que o normal e similar em terraplanagem de aterro rodoviário.

Um ponto fundamental para uma boa montagem é a humidade das terras.

Sê no momento de se proceder à compactação, o teor de água fosse excessivo, era provável que se produzissem deformações pontuais das "escamas".

Assim, quando chove, é aconselhável executar as camadas, de forma que a plataforma resultante tenha suficiente pendente e drenagem para facilitar o escoamento da água e impedir a sua concentração junto ao paramento.

Outra preocupação a ter, é evitar que as camadas de terra fiquem baixas quanto ao nível da união da "escama"-armadura, pois este defeito pode provocar uma inclinação anormal, com o consequente aumento da tensão nos arranques das "escamas".

É necessário no entanto distinguir entre o que poderiam ser erros graves de execução, e os pequenos desvios da verticalidade do paramento, que tem mais a ver com o aspecto estético do que com a repercussão sobre o comportamento estrutural do maciço "terra armada".

A geometria em planta das obras em "terra armada" não tem em princípio outras limitações que a do raio da curva do paramento (\pm de 30m como mínimo) e o ângulo agudo formado entre paramentos ($\approx 60^\circ$).

Fora isso, tanto curvas com ângulos podem ser executados sem problemas especiais. (Fotos 4 e 5)

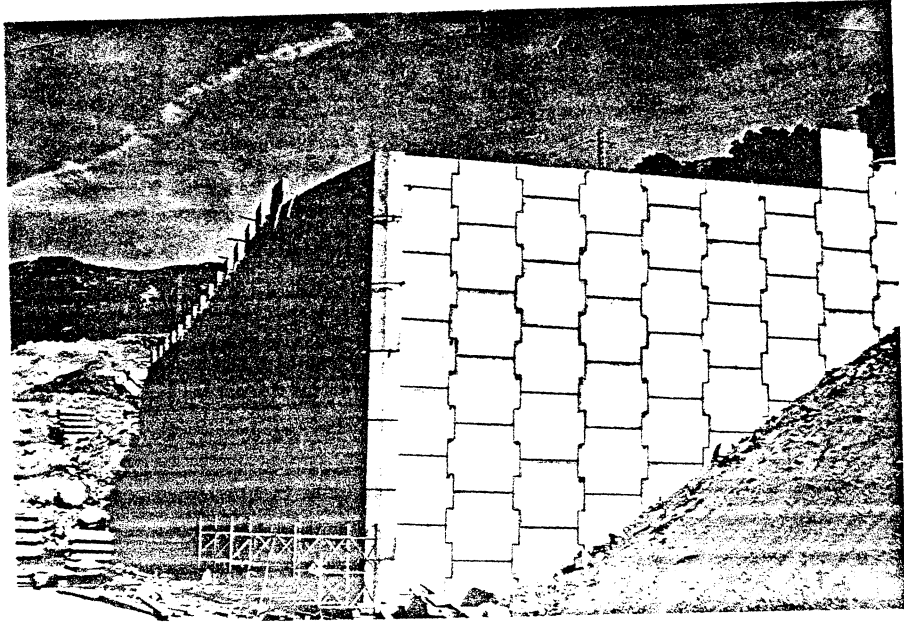


Foto 4

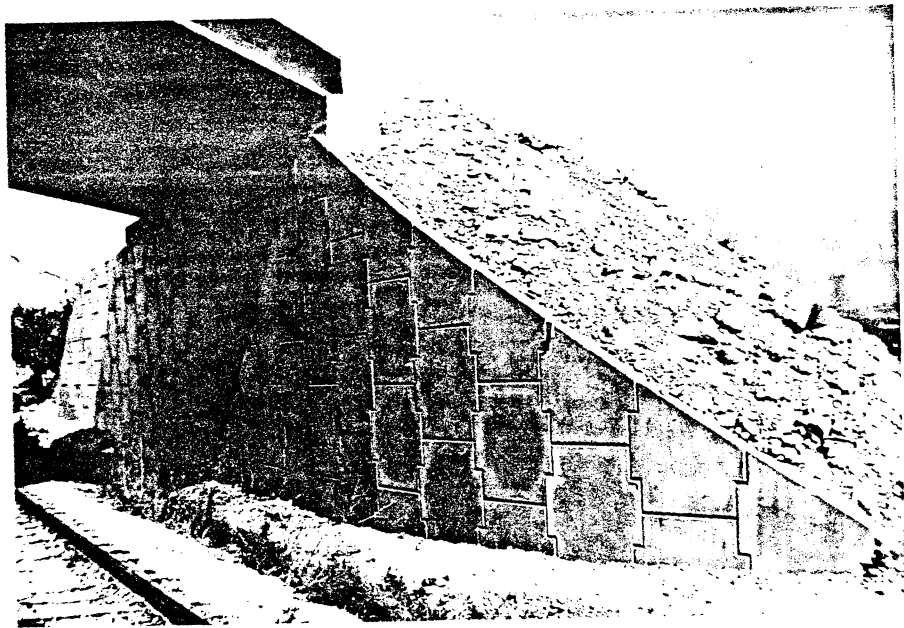


Foto 5

3. DIMENSIONAMENTO E CALCULO

3.1 DIMENSIONAMENTO

A secção dos maciços "terra armada" costuma ser rectangular. As suas dimensões são sancionadas pela prática e comprovadas pelo cálculo e correspondem em geral às representadas na Fig. 7.

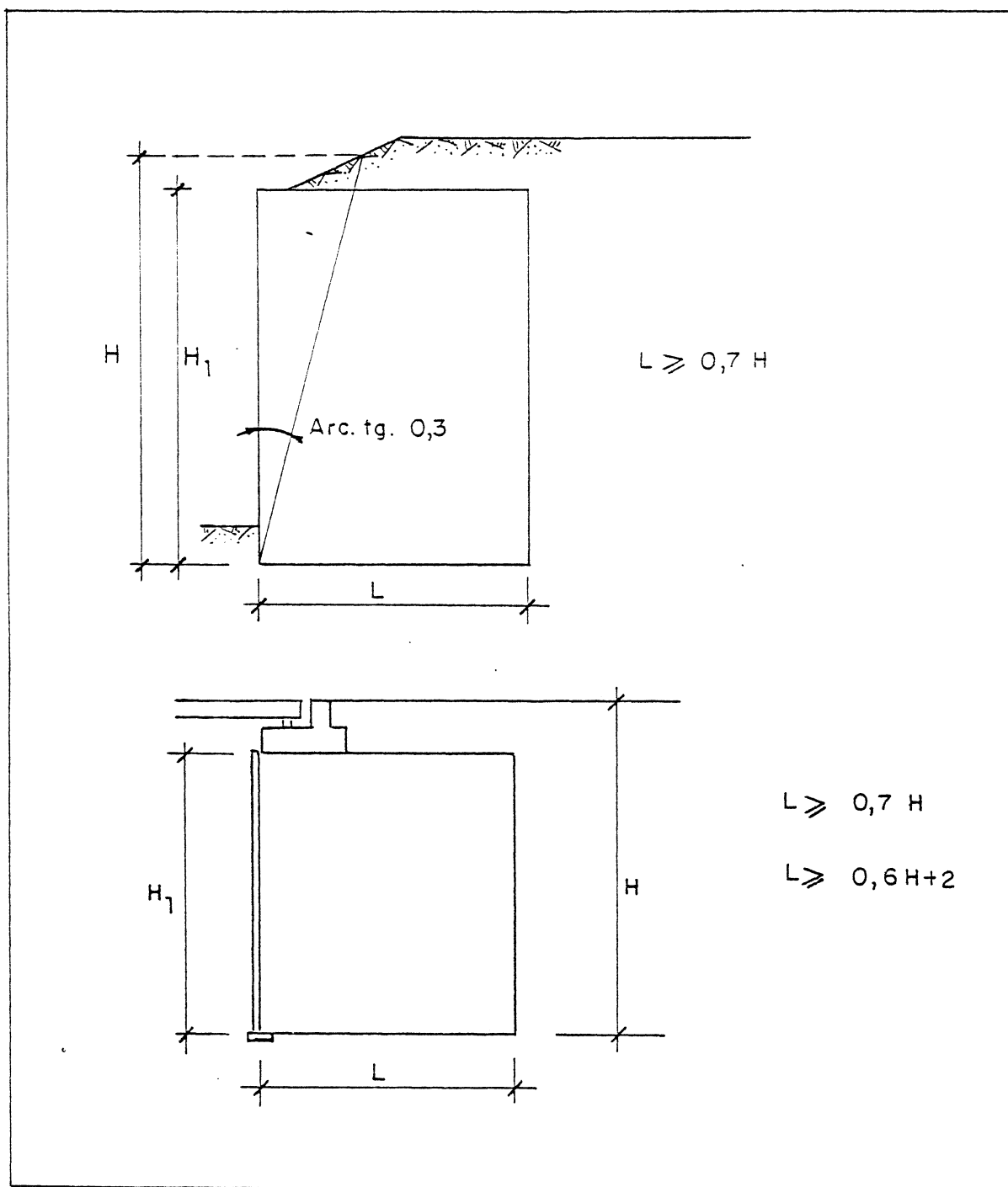


Fig. 7

Actualmente, as experiências levadas a cabo em obras reais, e a sua comprovação e extrapolação em calculo por elementos finitos, permitem a construção de maciços com comprimentos de armaduras sensivelmente menores, $\approx 0,5 H$, dependente do estudo das condições de estabilidade externa.

Normalmente é necessário encastrar o maciço, na sua zona mais baixa, numa profundidade que oscila entre $H/20$ e $H/5$ dependendo do talude do solo sobre que assenta.

3.2 ESTABILIDADE EXTERNA

Tal como em qualquer tipo de estrutura clássica, é necessário estudar as alterações que a construção de um maciço "terra armada" pode ocasionar no equilibrio exterior, em função da geometria e qualidade dos solos sobre que assenta.

Os ensaios a realizar são os habituais em mecânica de solos, se bem que em alguns deles, a peculiaridade do comportamento do maciço, introduza algumas modificações a ter em conta.

No calculo da segurança necessária para evitar a rotura do solo por afundamento, pode-se reduzir o coeficiente numa proporção $3/4$, tendo em conta a grande superfície de cimentação, e a capacidade de deformação do maciço de "terra armada", cujo comportamento é similar ao de um aterro.

Esta mesma deformabilidade faz com que mesmo quando a capacidade portante admissivel sobre um solo de cimentação vem fixada pelos assentamentos induzidos sobre o dito solo, seja necessário reve-la, já que o maciço pode suportar sem danos assentamentos diferenciais da ordem de 1% a 2% de pendente longitudinal.

Evidentemente este caso leva consigo a necessidade de estudar a magnitude e distribuição no tempo dos ditos assentamentos para analisar as suas repercussões sobre a superestrutura.

Outra comprovação clássica que pode apresentar características especiais para o seu emprego em estruturas "terra armada" e o cálculo da segurança de potenciais círculos de deslizamento. (Fig 8)

Aparte dos círculos exteriores às armaduras, é necessário estudar aquelas que as afectam de maneira muito exata tendo evidentemente em conta a resistência à tracção e aderência das ditas armaduras.

Este último paragrafo sugere imediatamente uma aplicação prática. É possível aumentar o coeficiente de segurança de um círculo de deslizamento pouco ou nada afectado por armaduras, aumentando o comprimento ou a densidade destas. Esta possibilidade já rendeu bons serviços em casos de difícil solução geotécnica.

1,981	1,994	2,006	1,880	1,621	
2,353	2,077	1,865	1,801	1,780	1,449
1,938	1,822	1,821	1,601	1,558	
2,115	2,023	1,851	1,748	1,882	1,396
1,902	1,820	1,88	1,540		
2,084	1,941	1,846	1,687	1,581	1,339
1,882	1,867	1,703	1,476		
2,048	1,942	1,788	1,644	1,469	
1,868	1,867	1,6	1,478		
2,045	1,938	1,885	1,506	1,358	
2,256	1,860	1,454			
2,003	1,870	1,814	1,490	1,232	
2,388	1,78	1,367			
1,988	1,873	1,558	1,413		
2,084	1,560	1,296			
2,256	1,651	1,510	1,396		
2,000	1,438				
2,385	1,638	1,450			

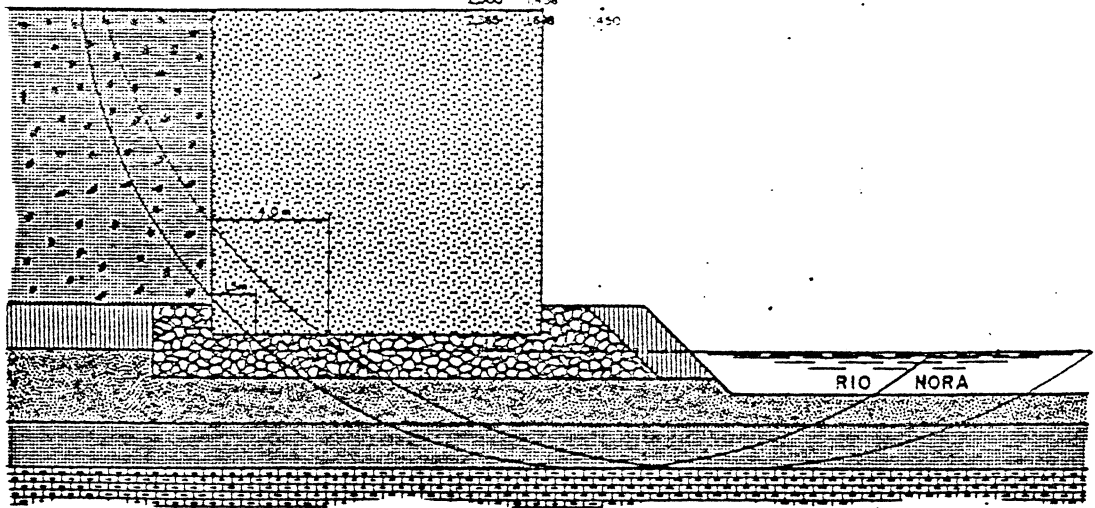


Fig. 8

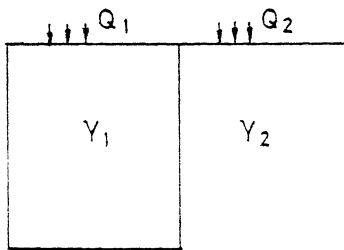
3.3 ACÇÕES

As acções a ter em conta para o calculo são as habituais para qualquer estrutura clássica e dependem da regulamentação de cada país.

A título de exemplo, atentemos nas figuras 9 e 10, nas combinações consideradas em França segundo as directivas do Ministério dos Transportes (Set/79).

		Combinacões			
ACCÕES		A	B	C	D
PERMANENTES	PESO PRÓPRIO MACIÇO	$\gamma_{1 \text{ MAX}}$ $\gamma_{F_1} = 1,35$	$\gamma_{1 \text{ MAX}}$ $\gamma_{F_1} = 1,35$	$\gamma_{1 \text{ MIN}}$ $\gamma_{F_1} = 1$	$\gamma_{1 \text{ MAX}}$ $\gamma_{F_1} = 1$
	PESO DAS TERRAS NO TARDOZ	$\gamma_{2 \text{ MAX}}$ $\gamma_{F_3} = 1,35$	$\gamma_{2 \text{ MAX}}$ $\gamma_{F_3} = 1,35$	$\gamma_{2 \text{ MAX}}$ $\gamma_{F_3} = 1,35$	$\gamma_{2 \text{ MAX}}$ $\gamma_{F_3} = 1$
	PESO DAS TERRAS SOBRE MACIÇO	$\gamma_{2 \text{ MAX}}$ $\gamma_{F_2} = 1,35$	$\gamma_{2 \text{ MAX}}$ $\gamma_{F_2} = 1,35$	$\gamma_{2 \text{ MIN}}$ $\gamma_{F_2} = 1$	$\gamma_{2 \text{ MAX}}$ $\gamma_{F_2} = 1$
VAR.	SOBRECARGA MACIÇO	$\gamma_{Q_1} = 1,6$	$\gamma_{Q_1} = 0$	$\gamma_{Q_1} = 0$	$\gamma_{Q_1} = 0$
	SOBRECARGA TARDOZ	$\gamma_{Q_2} = 1,6$	$\gamma_{Q_2} = 1,6$	$\gamma_{Q_2} = 1,6$	$\gamma_{Q_2} = 1,6$

$$\gamma_F G_{\text{MAX}} + G_{\text{MIN}} + \gamma_Q Q$$



G_{MAX} = PERMANENTES DESFAVORÁVEIS

G_{MIN} = PERMANENTES FAVORÁVEIS

Q = ACCÃO VARIÁVEL

Coefficientes de segurança $\left\{ \begin{array}{l} 1,5 \text{ a } 1,65 \\ 1,35 \text{ a } 1,5 \end{array} \right.$

Fig. 9

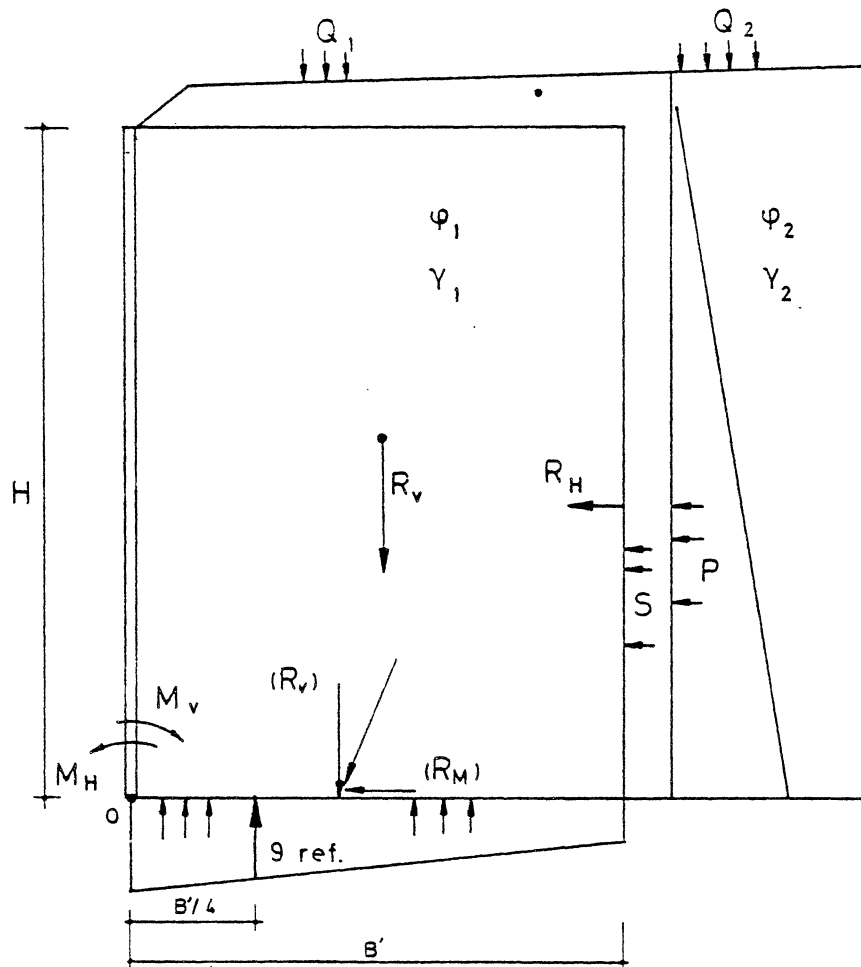


Fig. 10

3.4 ESTABILIDADE INTERNA

Verifica-se em primeiro lugar a segurança à queda e deslizamento o que não apresenta dificuldade especial e passa-se então ao dimensionamento interno propriamente dito, que é realmente específico da "terra armada", e que a diferencia substancialmente de uma estrutura clássica.

Na realidade trata-se de dois calculos realizados em paralelo, dos quais se elege o mais desfavorável.

- Secção de armaduras necessárias para suportar os esforços de tracção
- Superfície de atrito mínima imprescindível para assegurar a aderência necessária terra-armadura

Com estes dois critérios podemos fixar o número de armaduras e a sua secção, tendo o seu comprimento sido determinado já no predimensionamento.

Evidentemente, para ambos os calculos é necessário o conhecimento de uma série de parâmetros que se utilizam na formula:

- Coeficientes de impulso K (Fig 11)

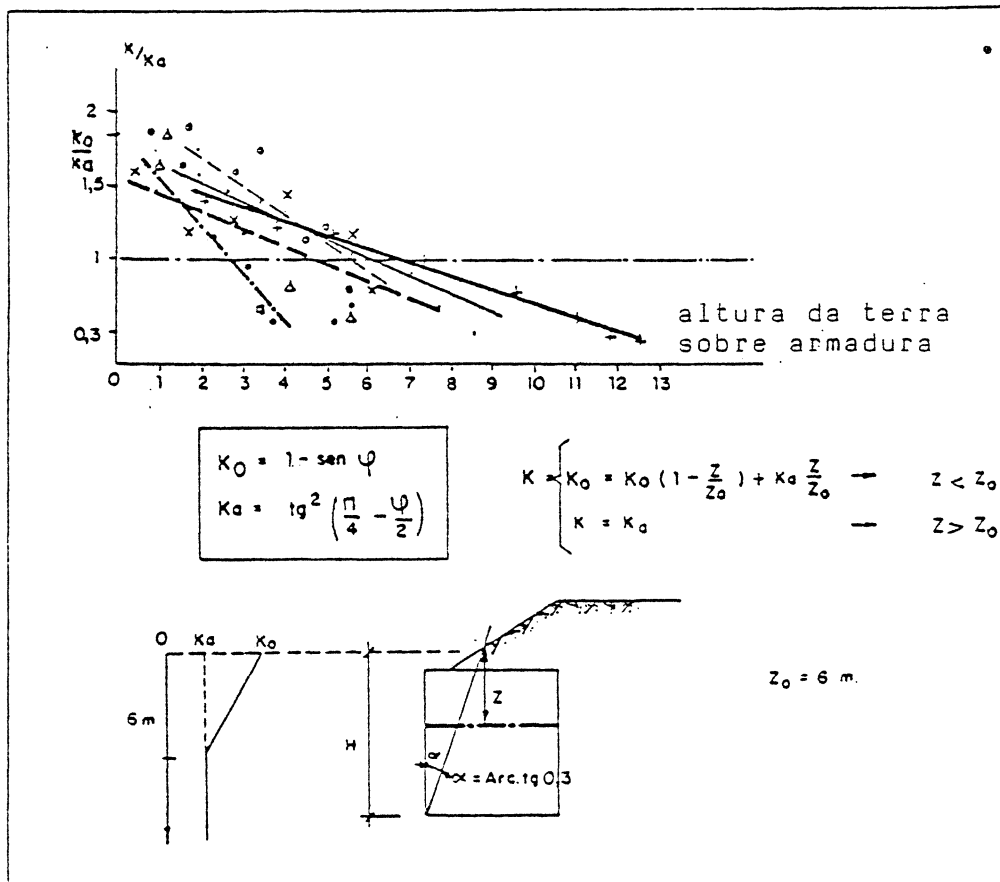


Fig. 11

Os valores de K determinaram-se de forma empírica a partir das medições realizadas da tracção nas armaduras com o calculo das tensões verticais teóricas existentes em cada nível.

Posteriormente, estes resultados foram ensaiados com calculos por elementos finitos encontrando-se uma boa coincidência entre os valores medidos e os resultados obtidos.

Na figura 11 vemos uma série de valores experimentais, no que resulta patente que o valor de K decresce a partir da zona superior do muro, e encontra-se sempre por baixo do coeficiente activo, a mais de 6m de profundidade. Elegeram-se pois dois valores prudentes, K_0 e K_a para o calculo da estrutura, em função da profundidade a que se encontra o nível estudado.

- Coeficiente de atrito aparente terra-armadura f_o^* (Fig. 12).

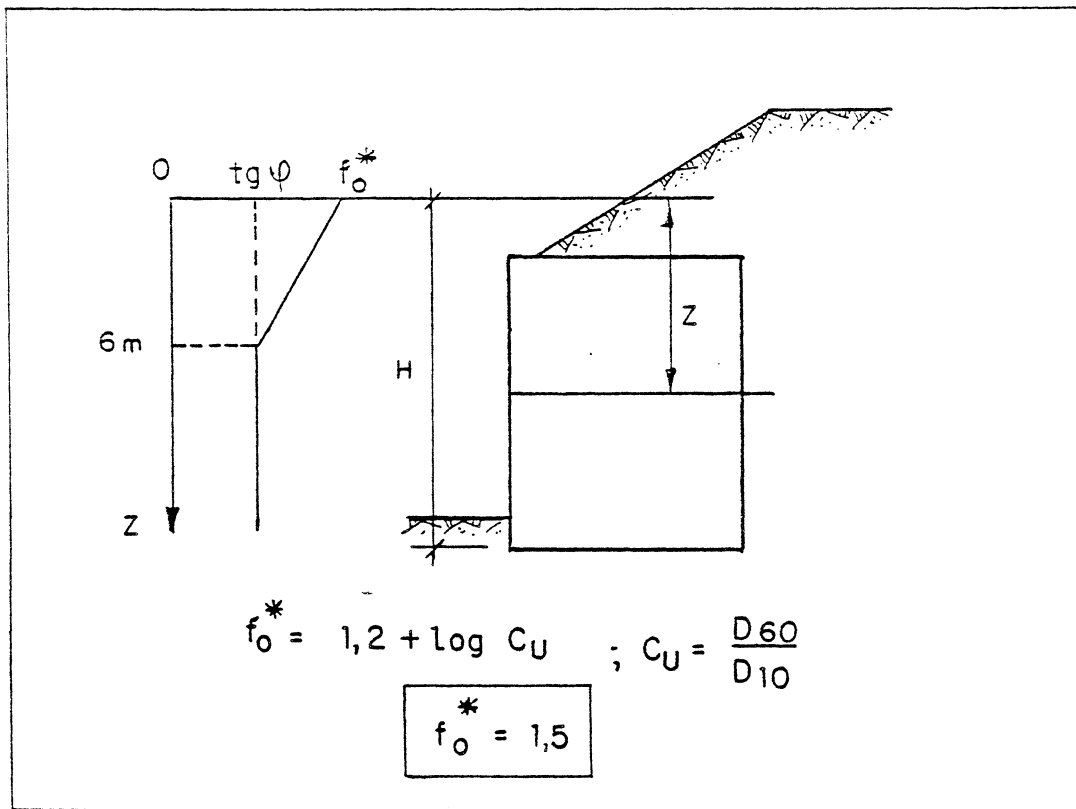


Fig. 12

Este coeficiente considera-se constante ao longo de cada armadura. Os valores retidos para o calculo apresentam-se na figura 12 e representam os valores obtidos em medições de obras reais de maneira muito prudente.

Nestes valores tem grande importância a forma geométrica da superfície das armaduras e o peso de terras existente sobre elas. (Fig 13)

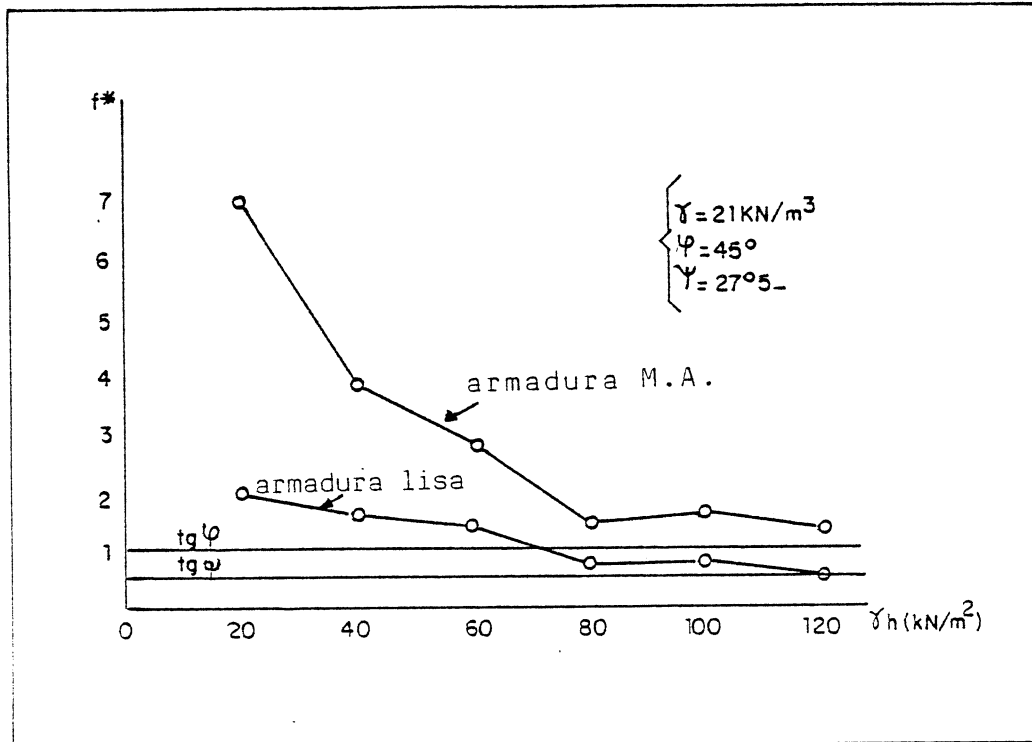


Fig. 13

Deste modo, no coeficiente de atrito aparente, goza um papel importante o fenómeno de dilatação (Fig 14), pelo qual a terra próxima da armadura tem tendência a aumentar de volume.

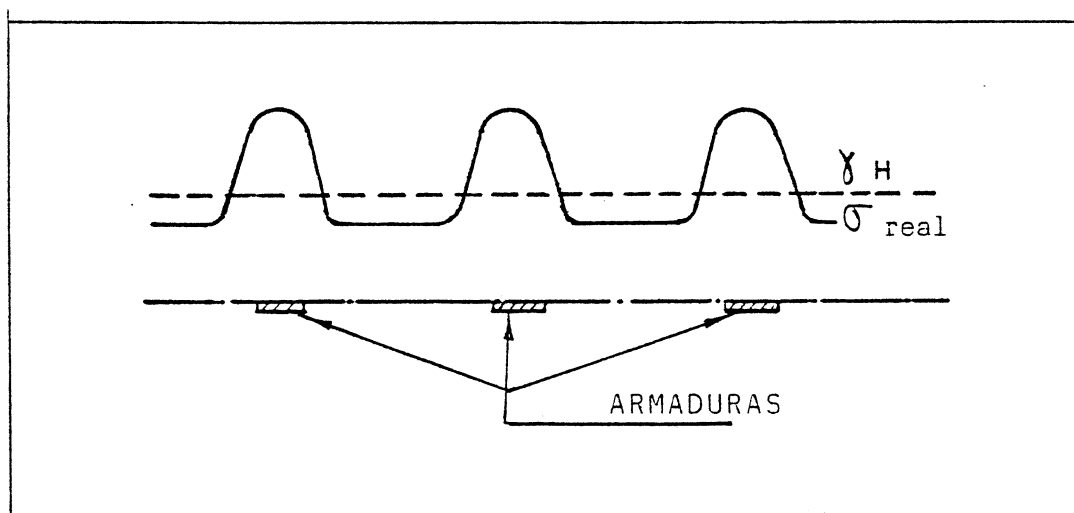


Fig. 14

Ao ver-se limitado pela débil compressibilidade do solo circundante, produz-se um aumento da tensão normal à superfície da armadura, e portanto um coeficiente de fricção aparente superior ao real.

- Linha máxima de tracção (Fig 15)

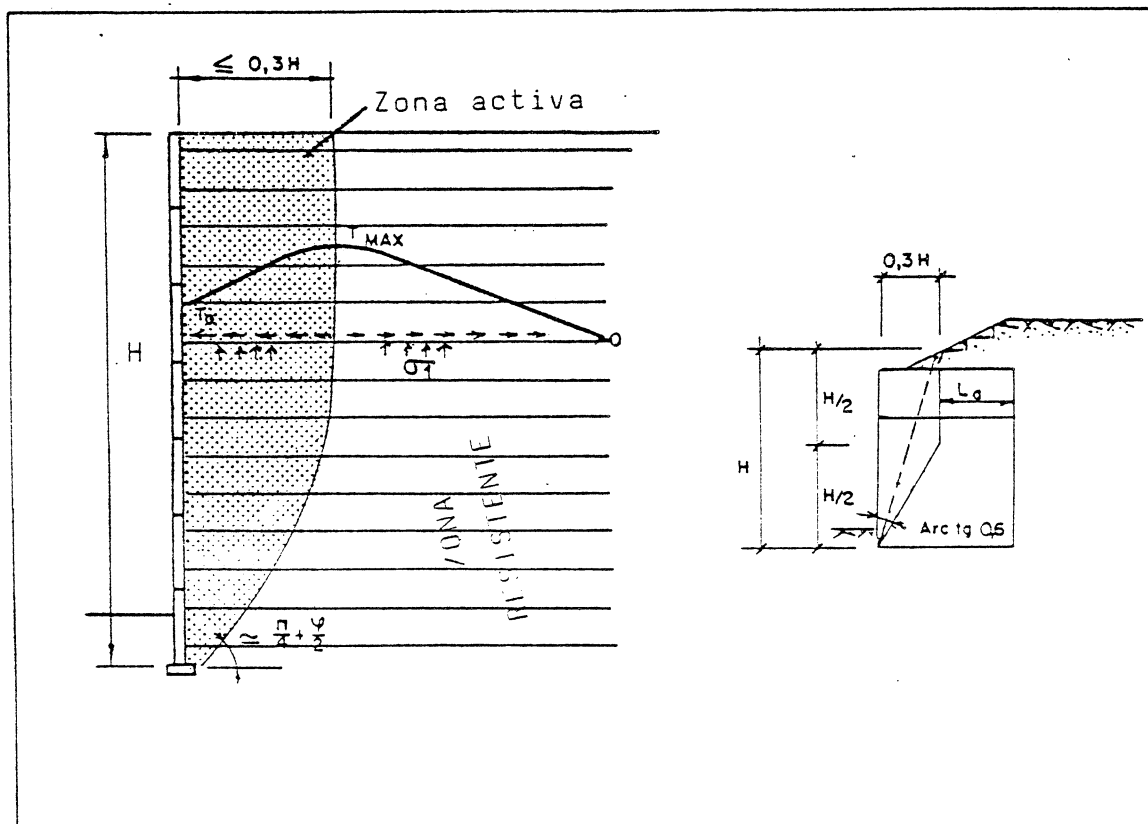


Fig.15

De igual modo que os anteriores valores, esta linha determinou-se experimentalmente por meio de múltiplos ensaios e verificou-se com calculos em modelos por elementos finitos.

O maciço fica dividido em zonas, uma activa e outra resistente. A zona resistente é a única a ter em conta para o efeito de aderência da armadura por meio da seguinte fórmula:

$$T_f = \frac{1}{\gamma_F} \cdot 2w \cdot f \cdot G_1 \cdot L_a$$

sendo w a largura da armadura e γ_F o coeficiente de segurança.

Normalmente a máxima tracção da armadura não se encontra na união com o paramento tal como se pode ver na figura 15.

Por outro lado, a situação desta linha, depende da geometria do maciço e das acções a que está submetido.

4. DURABILIDADE

Contrariamente ao que se pensa de maneira muito generalizada, a corrosão sofrida pelos metais enterrados constitui um fenómeno sobre o qual se possui uma considerável experiência, com dados comprovados, fiáveis e coerentes, e a partir dos quais se podem extrair valiosas conclusões.

Como exemplos que ilustram o anteriormente afirmado, podemos citar as seguintes investigações:

- Conduitas (E.D.F. - 1957-França) Estudo de 24 conduitas subterrâneas com mais de 50 anos.
- Tubos de aço galvanizado (F.H.W.A. - 1968-E.U.A.) Estudando cento e onze tubos durante 40 anos.
- Estacas - Estudos durante 40 anos.
- Estudo de M. Romanoff (N.B.S. - 1910/1935) com 333 metais diferentes em 128 lugares distintos.

Pela sua parte o grupo Terra Armada Internacional tem mantido desde o princípio uma investigação constante em quatro pontos fundamentais:

- Ensaios em muros reais experimentais
- Ensaios em laboratório com caixas de corrosão
- Medições da velocidade instantânea da corrosão em células
- Estatísticas sobre obras reais em serviço

Todos estes dados têm permitido conhecer os pontos fundamentais a ter em conta, os quais de forma resumida se pode dizer que são os seguintes:

- _ Resistividade eléctrica dos solos
- P H
- Conteúdo em iões solúveis (Cl^- e $So_4^{=}$) fundamentalmente.

Constatou-se igualmente que a possibilidade de fazer previsões razoáveis de vida, residem na consecução de uma corrosão uniforme, que evite ao máximo os pontos de corrosão concentrada.

Neste sentido, a eleição do aço macio goza um papel importante, uma vez que é um material do qual se conhece bem o seu comportamento, e em que o zinco do galvanizado, assegura a protecção catódica do aço atacado, uniformiza a corrosão nos primeiros anos, em que é mais rápida, e produz uma ganja autoprotectora que evita a dissolução.

A evolução da corrosão produz-se da forma mostrada na Fig. 16

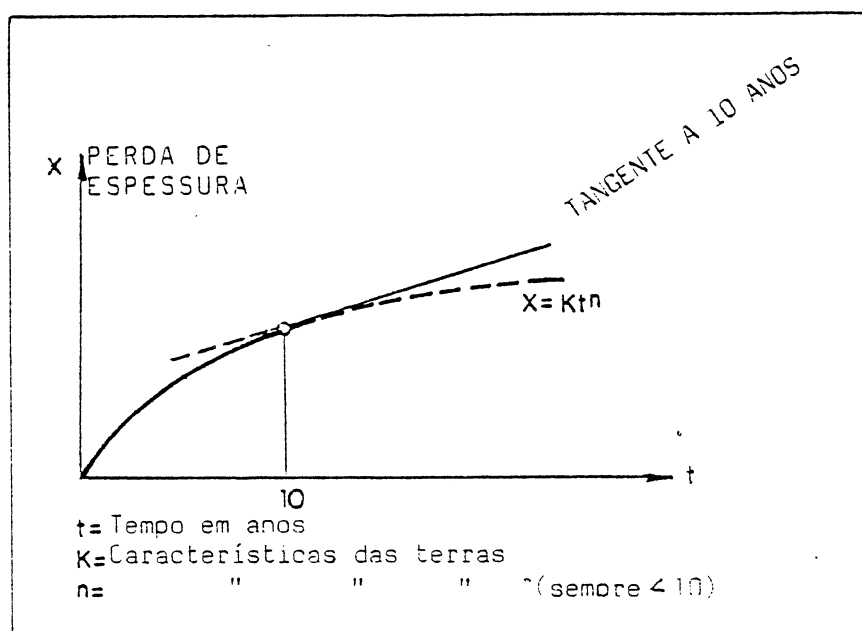


Fig 16

Todos os ensaios e investigação realizados concordam razoavelmente com estas previsões, pelo que se trata de seleccionar os materiais de aterro segundo o que já ficou dito nesta exposição, e decidir uma sobrecapa nas armaduras com a qual não se entre em conta para o cálculo.

Com isto, confronta-se a armadura com o que em média se pode estimar ser a sua perda de espessura ao longo do tempo, e dá-se teóricamente à corrosão essa espessura de forma que o que vier a perder não signifique um abaixamento no nível de segurança da obra.

5. REALIZAÇÕES

Uma das características da "terra armada" que mais tem contribuído para a sua expansão, e da que se tem sabido extrair maior proveito, é sem dúvida, a sua capacidade de assentamento sobre maus terrenos de fundação, graças à sua deformabilidade.

Para uma estrutura clássica em betão, a possibilidade de admitir assentamento diferenciais é muito reduzida devido à sua rigidez.

No caso em que o terreno de fundação apresenta problemas de assentamento ou capacidade portante, é necessário recorrer ao emprego de fundações profundas, normalmente estacas.

Do ponto de vista técnico, esta solução não apresenta habitualmente grandes problemas, salvo o da união ao terreno de acesso que por certo assentará, enquanto a estrutura rígida permanecerá imóvel.

Recorre-se então à laje de transição, cujo comportamento com frequência dista do satisfatório.

Económicamente falando, os casos têm outro cariz, quando as estacas tem já um certo comprimento, sendo seguro que nesses casos as fundações podem alcançar um custo realmente importante no custo total da estrutura.

Há ainda situações, em que tecnicamente se põem problemas importantes. Se a espessura dos solos brandos é grande, e a sua capacidade baixa, a execução da terraplanagem repercute nas estacas efeitos que sempre se produzem em maior ou menor grau, pelo que estes casos se revestem de verdadeira preocupação.

O atrito negativo, e os impulsos laterais, podem obrigar a dimensionamentos tais que a solução seja inviável técnica e economicamente.

No primeiro caso, a solução "terra armada" que é sempre de fundação directa, não apresenta habitualmente nenhum problema, bastando uma previsão dos assentamentos.

Frequentemente os assentamentos produzem-se em grande proporção durante a montagem, já que o elemento fundamental que transmite a tensão, é o peso das terras.

Por outro lado a laje de transição é desnecessária uma vez que o comportamento do terreno de acesso e da estrutura é homogéneo.

Assim, o custo da solução em "terra armada" é neste caso, praticamente igual ao da mesma estrutura assente sobre um bom terreno de fundação.

No segundo caso, em que a espessura de solos brandos é grande, é necessário em primeiro lugar um estudo mais profundo, onde se analisa não só os assentamentos, como também as condições de estabilidade a curto e longo prazo.

Em algumas ocasiões empregou-se com êxito uma substituição da zona mais alta do solo, com uma espessura a definir, por um terreno melhorado e compactado.

Também já se ensaiou, se não há problema de espaço, carregar o solo em frente do paramento de forma provisória, com o objectivo de aumentar o coeficiente de segurança a curto prazo, normalmente o mais crítico.

Estas soluções são suficientes na maioria dos casos, e não representam de forma alguma uma grande repercussão no aumento dos custos.

Restam evidentemente, um pequeno número de casos, em que as respostas apontadas não são suficientes, quer por se tratar de casos extremos (ex:lodos) ou porque os assentamentos diferidos são importantes e incompatíveis com a estrutura (ex:solos muito argilosos e saturados).

É preciso então, recorrer a soluções mais sensíveis, em que é básico um estudo geotécnico profundo.

Alguns exemplos destas soluções são a pré-carga, os drenos de areia ou de balastro, a vibroflutuação, a compactação dinâmica, ou a construção de soleiras flexíveis constituídas por armaduras em "terra armada".

Como realização prática reveste-se de grande interesse uma ponte executada na auto-estrada de Bilbao-Behebia em Espanha em que se abandonou a solução em estacas. (Fig 17)

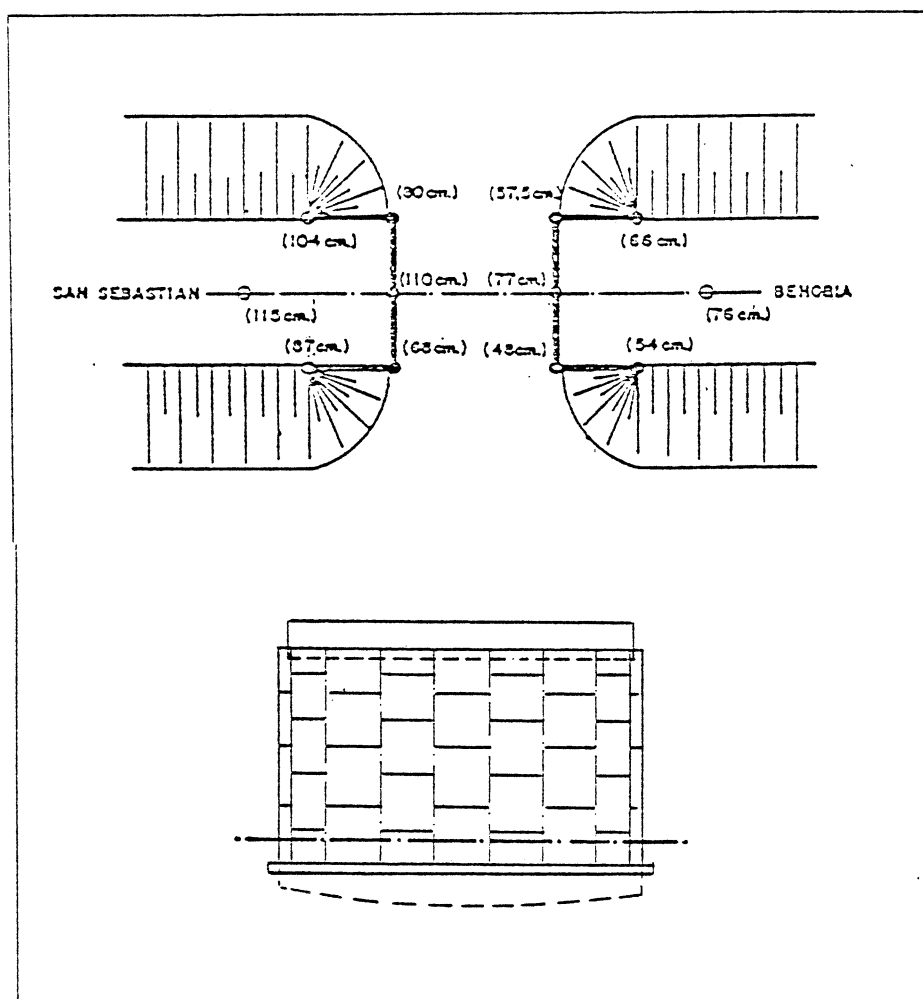


Fig 17

Os assentamentos constatados rondaram sensivelmente os préviamente estimados, como apresenta a figura 17.

Trata-se obviamente de uma caso extremo, com assentamentos totais que em alguns pontos superam 1 metro, e com assentamentos diferenciais da ordem dos 2%.

O comportamento da estrutura foi correcto tendo sido objecto de uma interessante artigo em que se descrevem as características da obra, (nº 3163 Nov/1978 - Revista de Obras Públicas).

Outra vertente das possibilidades que permite a flexibilidade da "terra armada" é o seu apoio sobre terrenos de aterro recente.

Esta típica solução, permite economizar com frequência importantes superfícies de muro e emprega-se de maneira sistemática nos muros adjacentes de um encontro em "terra armada". (Fig 18 e Foto 6)

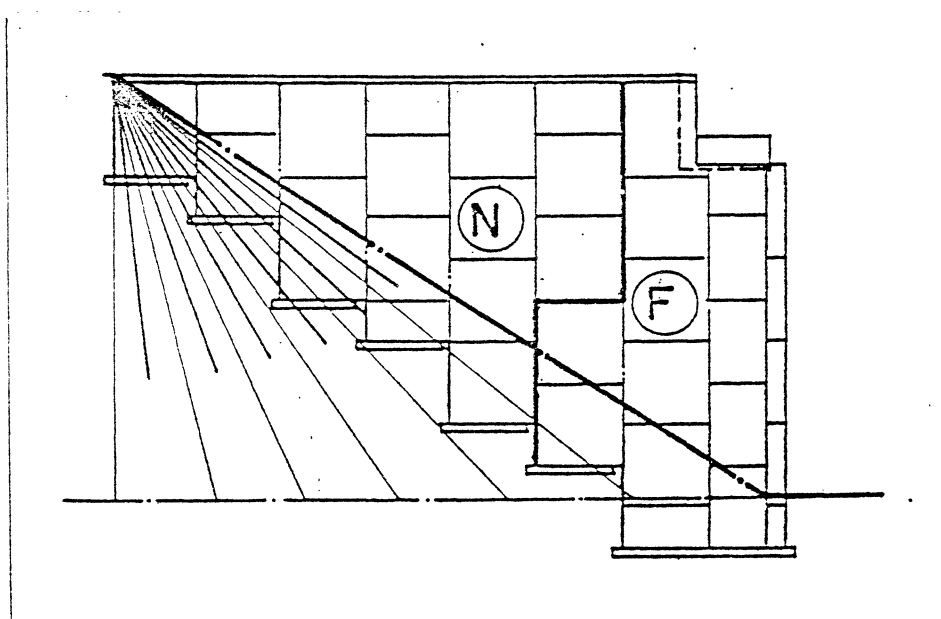


Fig. 18

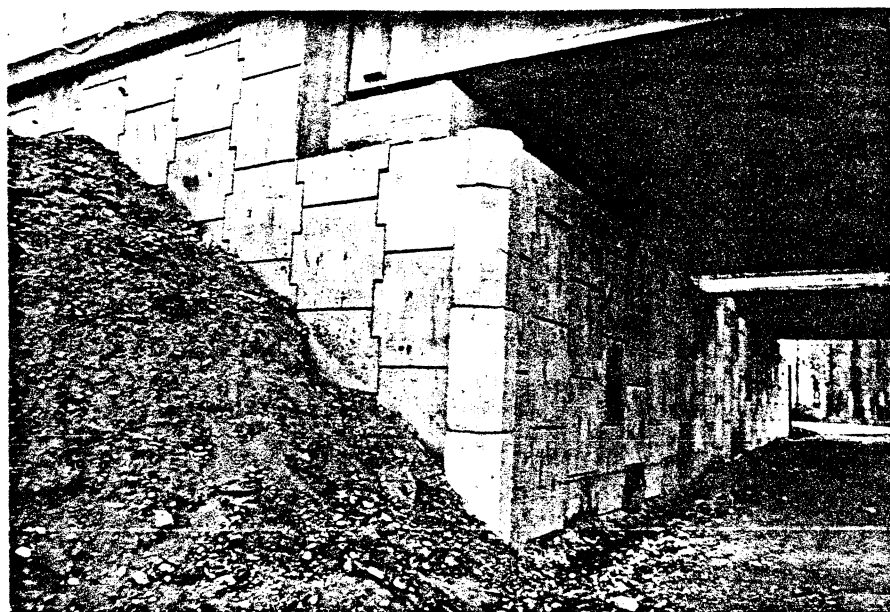


Foto 6

Outro exemplo importante desta mesma aplicação é o caso do muro apresentado na Foto 7 e Fig 19.



Foto 7

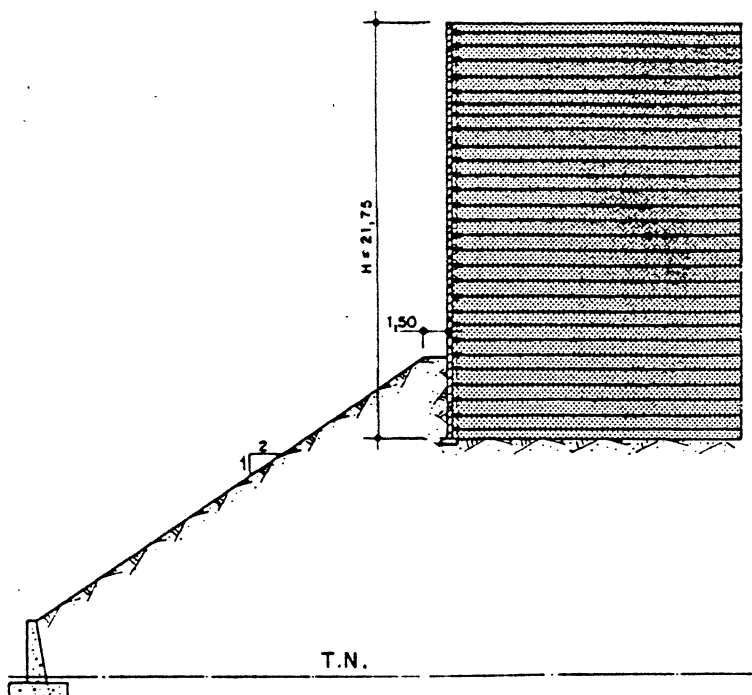
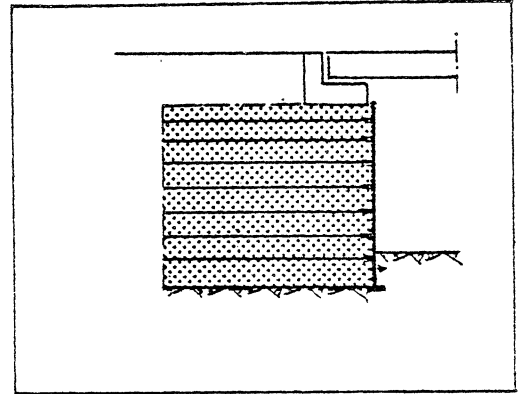


Fig. 19

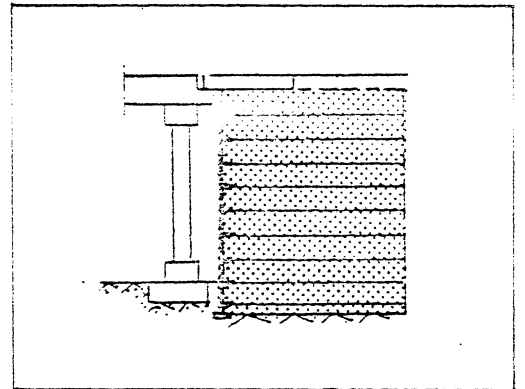
Tudo o referido anteriormente, permite deduzir que é possível construir com "terra armada" um tipo muito variado de obras.

A título de exemplo, apontamos algumas das aplicações concretas já construídas, e que se encontram em serviço.

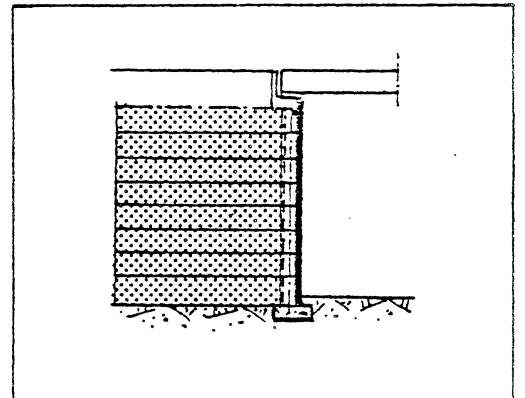
- ENCONTRO DE PONTE
E VIADUTO



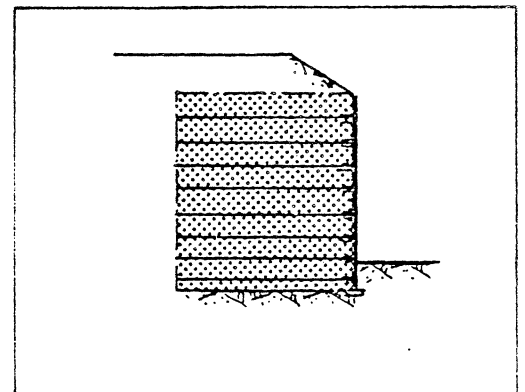
- ENCONTRO MISTO



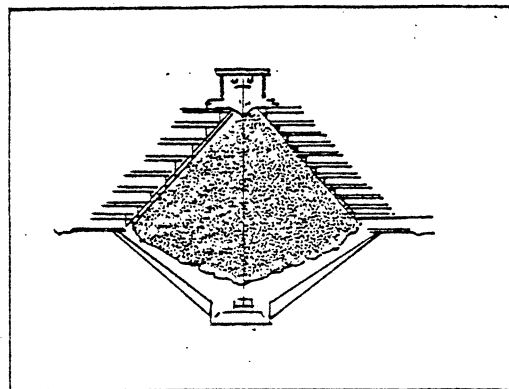
- ENCONTRO C/PILAR



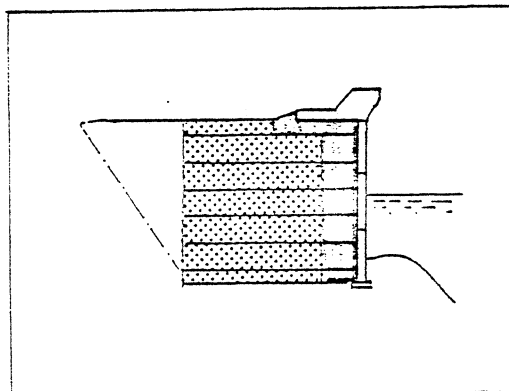
- MUROS DE SUPORTE
COM OU SEM TALUDE



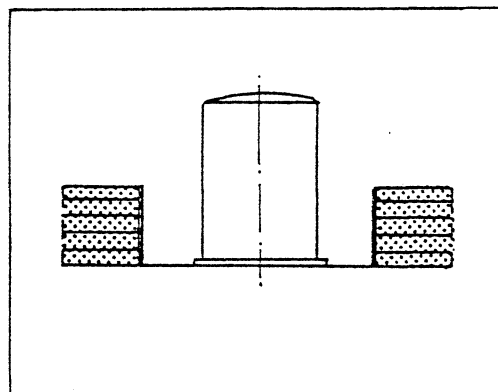
- SILOS DE MINERIO



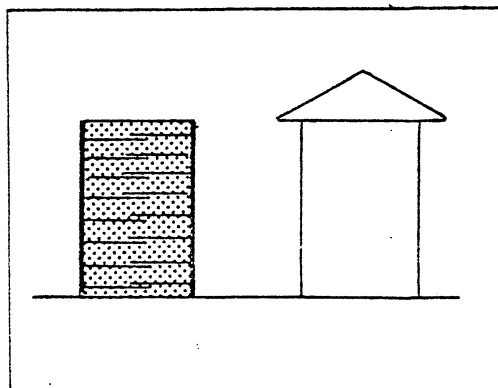
- MOLHÉS



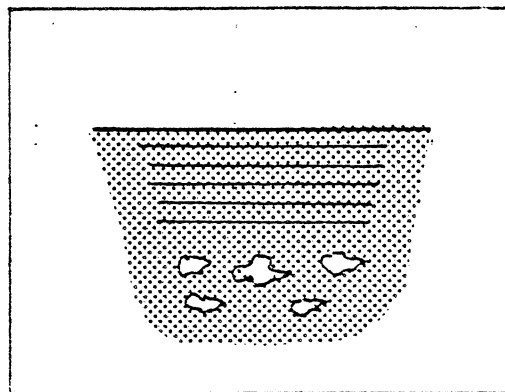
- MUROS DE RETENÇÃO
DE COMBUSTIVEIS



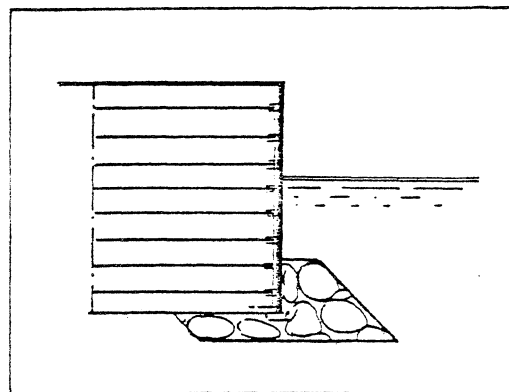
- MUROS DE PROTECÇÃO



- SOLEIRAS DE TERRA ARMADA
EM ZONAS CRITICAS



- MUROS INUNDAVEIS EM
RIOS OU MAR



- REPRESAS

