

# A Ancoragem de Escavações em Maciços Rochosos

## The Use of Rock Anchors in Excavations

Por

M. J. Leal Gomes

*Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro*

**Resumo:** Neste trabalho sintetizam-se algumas regras que devem presidir ao projecto de ancoragem de escavações em maciços rochosos, tendo também em vista a possibilidade de solicitações dinâmicas. Referem-se alguns princípios fundamentais da instalação de ancoragens.

**Synopsis:** In this paper are summarized some rules that should be taken into account in any project involving anchorages in excavations in rock masses, always bearing in mind the possibility of the action of dynamic forces upon rock anchors and considering too some basic principles of their instalation.

### 1. Introdução

O termo "ancoragem" pressupõe o estreito relacionamento entre duas regiões de um maciço através de uma haste metálica. O seu funcionamento pode ser de dois tipos: ou se destina à melhoria local das propriedades do terreno pela inclusão do aço no maciço de má qualidade e pela união dos fragmentos da rocha mais ou menos compartimentada (chamaremos "chumbador" a este dispositivo), ou constitui um suporte activo reintroduzindo confinamentos num maciço descomprimido por uma escavação ("tirante").

Ao reintroduzir um confinamento num maciço, o tirante afasta o terreno da sua envolvente de rotura de Mohr-Coulomb (Fig.1). Este princípio tão simples tem inúmeras aplicações no âmbito da Engenharia Geotécnica.

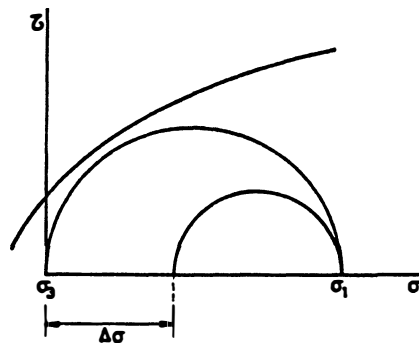


Fig. 1 - Princípio de funcionamento dos tirantes

A abertura de escavações em maciços rochosos provoca uma redistribuição das linhas de força na sua vizinhança visando o restabelecimento de equilíbrios e compatibilidades que se adaptem às novas condições. Por outras palavras, com o desmonte, parte da energia potencialmente mobilizável armazenada no maciço transforma-se em energia de superfície e de deformação dos fragmentos e do contorno da nova superfície livre enquanto a diferença tem de ser redistribuída. Acontece que sendo os maciços heterogéneos, descontínuos, mais ou menos anelásticos, sujeitos a diversos caprichos na distribuição e orientação das tensões principais, raramente isentos de uma significativa componente viscosa, essa redistribuição pode adquirir formas peculiares e inesperadas de que as roturas das frentes e a cedência de suportes e

revestimentos são apenas algumas consequências. Todos estes fenómenos são indícios de inesperadas acumulações de energia na vizinhança das obras que convém prevenir em devido tempo. Se é possível fazê-lo com convenientes sistemas de escavação, uma cuidadosa adequação dos perfis e sistemas de sustentação adaptados às propriedades dos terrenos e às tensões instaladas no maciço, há ainda assim processos que escapam às previsões. Também nestas situações o tratamento por meio de ancoragens está muito vulgarizado, mas só pode ser definido caso a caso observando as condições concretas. É particularmente útil na correcção das perturbações causadas nos maciços pela abertura de escavações.

Este artigo destina-se a propôr algumas regras gerais e a tecer alguns comentários que na nossa opinião muito podem facilitar a abordagem deste tipo de questão.

## 2. O projecto de ancoragem de escavação subterrâneas

Se é possível em certa medida, prevenir as roturas vulgares de frentes, tectos, hasteais, pisos, suportes e revestimentos com uma escavação cuidadosa e uma boa previsão das tensões instaladas no terreno, sendo a intenção fundamental a obtenção de um vazio intacto no maciço, convém afastar todas essas acumulações indesejáveis de tensões da sua imediata vizinhança e tanto para o interior do terreno quanto possível, criando uma área protegida intermédia.

Em escavações subterrâneas (túneis, poços, chaminés, cavernas), pela conveniente associação dos seus efeitos, os tirantes conduzem à formação de um "arco comprimido" (Fig. 2) que constitue uma verdadeira estrutura de contenção dos esforços e deformações produzidos pelo maciço, em processo de descompressão, no sentido do vazio.

Estimado o valor  $P$  desse esforço e a área  $A$  sobre a qual, pelo menos teoricamente, se desenvolverá, é possível prever aproximadamente qual a pressão  $p$  que um suporte activo deveria introduzir na sua área de influência para repôr uma fracção adequada do confinamento subtraído.

Vê-se que

$$p = p(P, A, z) \quad 1)$$

onde  $z$  é uma função da forma da forma da escavação e das propriedades do terreno.

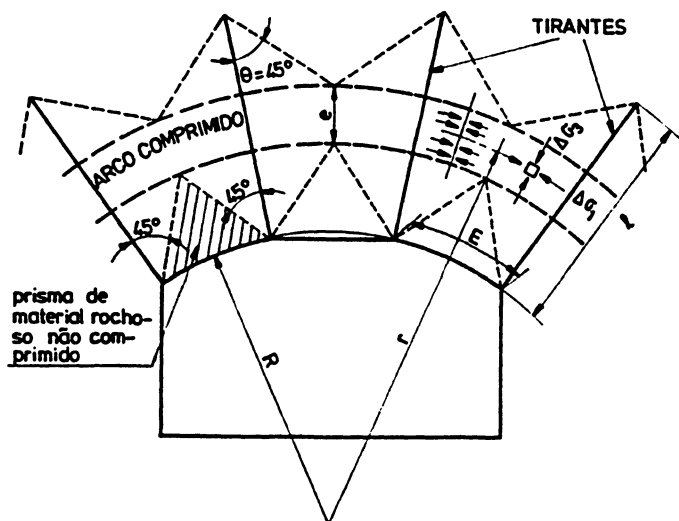


Fig. 2 - O arco comprimido

No caso de escavações de abóbada circular é comum o uso da fórmula prática

$$P = \frac{p_v \cdot r(1 - \text{sen}\phi)}{e(1 + \text{sen}\phi)} \quad 2)$$

onde  $r$  é o raio da "fibra média" do arco comprimido de espessura  $e$  e produzido pelos tirantes,  $P_v$  a pressão vertical do terreno e  $\phi$  o seu ângulo de atrito.

Se a capacidade de trabalho da haste for  $T$ , então a área de influência de cada ancoragem será

$$E^2 = T/p \quad 3)$$

onde  $E$  é o espaçamento entre tirantes.

Obedecendo o mais possível a malhas quadradas para homogeneizar a intensidade média do esforço introduzido na área que interessa ao atirantamento e jogando com o seu comprimento e o seu espaçamento de modo a obter-se um mínimo de tirantes por secção para um máximo da espessura do arco comprimido, ter-se-á "grosso modo", definido o atirantamento da escavação subterrânea.

Aparentemente nada é mais económico do que utilizar o próprio maciço como estrutura resistente. E deste modo conseguem-se fazer permanecer abaixo da resistência dos terrenos, as tensões no contorno de muitas escavações de boa a média qualidade.

Outra função dum sistema de ancoragens como o idealizado consiste no controle das deformações do perfil. Não só introduz uma compressão radial que provoca redução nas deformações no sentido do vazio, função do dispositivo escolhido e das características reológicas do material, como suspende esse contorno de um ponto no interior do maciço diminuindo o desenvolvimento de convergências. E esse controle de convergências feito em devido tempo, evitando mobilizações crescentes de material rochoso que as componentes viscosas da reologia do maciço permitam desenvolver proporcionando deformações inconvenientes, garante significativa economia de suportes e uma segurança adicional aos trabalhos executados dentro deste critério.

Pode afirmar-se que grande parte dos danos observados em suportes e revestimentos resultam da sua aplicação tardia, tendo sido permitidos relaxamentos importantes do maciço que significam uma quantidade de material potencialmente mobilizável cada vez maior.

Em rigôr, em alguns casos, há realmente algum interesse em que se realizem as deformações do terreno pois os suportes e/ou o revestimento não terão de resistir à energia correspondente. Mas em princípio isso só é válido para os terrenos de melhor qualidade em que as componentes viscosas tendem a anular-se com o tempo. Nos terrenos de pior qualidade a única maneira de deter a indesejável fracturação é pelo contrário limitar as deformações do perfil. Em relação a este assunto o ideal seria prever o instante em que se excedem as máximas deformações conciliáveis com a compatibilidade ou com o funcionamento da escavação para os fins projectados, cujo limite corresponde ao desenvolvimento de deformações e fracturas mesmo sob tensão constante ou em fase de redução. Seria necessário conhecer as curvas reológicas dos terrenos e a distribuição real das pressões e deformações em torno das escavações ao longo do tempo. Excedida a resistência do terreno já não fará sentido contabilizar a compatibilidade nas estimativas dos confinamentos a serem introduzidos pelos tirantes, mas somente o equilíbrio do material já compartimentado.

Ora, se entender o arco comprimido como uma estrutura resistente, ele possuirá propriedades reológicas definidas pela função  $g(p)$  (Fig. 3) onde  $\epsilon$  são as deformações e  $p$  as pressões. Sendo  $f(p)$  a curva intrínseca do terreno, para fins de cálculo, o importante é determinar aproximadamente as pressões  $p_i$  de equilíbrio correspondente às pressões ótimas a serem introduzidas pelos tirantes.

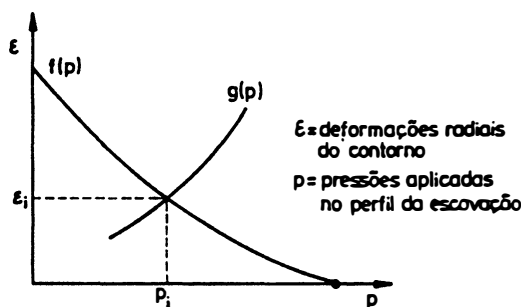


Fig. 3 -Determinação das pressões de equilíbrio do arco comprimido versus maciço e das deformações ótimas a serem consentidas.

Enquanto que as curvas intrínsecas dos maciços são determináveis através de ensaios especiais realizados em trechos de túneis obturados com tampões de betão e cheios de água sob pressão que se vai retirando de modo a poderem-se anotar as convergências correspondentes ao decréscimo de pressão, já as propriedades do arco comprimido são muito mais difíceis de prever.

Por um lado há que considerar a modificação das propriedades do terreno pela aplicação do aço e das injeções que as beneficiam. Além dessa alteração, no volume directamente compreendido pelos tirantes, a modificação do estado de tensões introduz aí um comportamento bem distinto do do restante maciço. Uma forma de analisar todo este assunto consiste em estudar parametricamente a influência da variação das constantes em jogo pelo método numérico dos elementos finitos. Talvez também seja um estudo teórico com interesse, a ser conduzido experimentalmente, verificar como as propriedades do arco comprimido são modificadas pela introdução das ancoragens.

A interacção entre os clastos pode ser calculada para padrões de fracturamento muito simples e regulares, de acordo com a doutrina da transmissão de tensões entre os clastos, mas na verdade é muito difícil a sua avaliação para fins práticos. A este respeito importa considerar que a interacção mais forte se dá junto à placa do tirante e no ponto fixo no interior do maciço. Isso significa que se se especificar uma tensão  $T$  dos tirantes, a meia distância entre a placa e o ponto de ancoragem apenas se terá uma fracção desse valor que será tanto menor quanto maior a distância entre os dois pontos.

Por isso na distribuição dos tirantes convirá levar em atenção este aspecto de modo a ter-se uma perspectiva correcta do valor global das tensões realmente introduzidas e da forma de sobrepôr os efeitos das várias ancoragens de modo a conseguir-se uma distribuição uniforme e suficiente das tensões ao longo do arco comprimido.

Não sendo possível determinar na maioria dos casos as pressões  $p_i$  de equilíbrio, recorre-se a hipóteses de carregamento imaginando as regiões do maciço envolventes do vazio que sejam potencialmente mobilizáveis pela abertura da escavação. Széchi descreve algumas dezenas de geometrias teóricas para esse material mobilizável, propostas por vários autores,

sendo em muitos casos as diferenças de pormenor. Caberá ao engenheiro encontrar a mais adequada ao caso entre as mãos, levando em conta os vãos livres, a qualidade do terreno, a ocorrência de águas subterrâneas e o tempo que a escavação deverá permanecer sem suportes e revestimento. Nas Figs. 4 e 5 apresentam-se duas hipóteses de carregamento muito usadas, embora para condições dos parâmetros que referimos substancialmente diferentes.

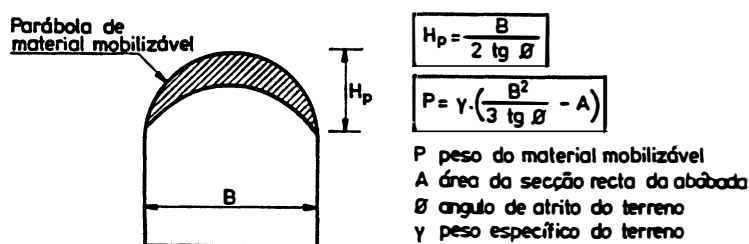


Fig 4. - Hipóteses de carregamento de Protodiakonov

É evidente que o benefício conseguido com a introdução de tirantes depende bastante da forma da escavação. Da análise deste aspecto depende a concepção do funcionamento de todo o sistema de ancoragens a utilizar, pelo menos em tese. Assim, abóbadas mais ou menos achatadas correspondem, em teoria, a diferentes tendências para o desenvolvimento dos esforços no sentido do vazio e na distribuição das tensões introduzidas pelos tirantes no maciço.

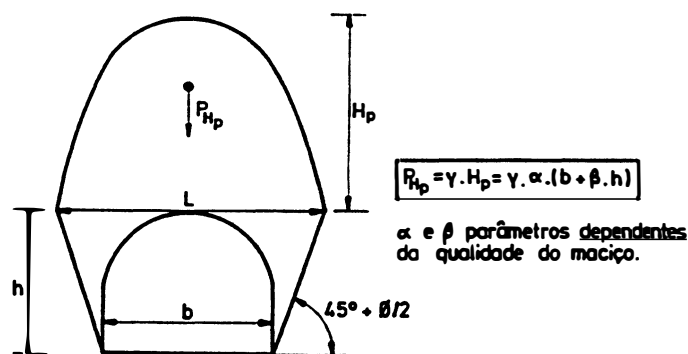


Fig. 5 - Hipótese de carregamento de Kommerell-Ritter

Entendemos agora o atirantamento como armação de uma estrutura de matriz rochosa, onde os factores essenciais a considerar são as propriedades da rocha, a geometria e dimensões da escavação e a tensão mínima que é conveniente introduzir para se obter o arco comprimido, afastando o terreno da sua envolvente de rotura e produzindo adequada interação dos clastos.

A resistência do terreno deverá ser superior às tensões a introduzir e a dimensão dos clastos deverá ser suficientemente grande para garantir ou reforçar o arqueamento dos fragmentos em torno da escavação. De acordo com Lang o tamanho médio dos clastos não deverá ser inferior a um sétimo do espaçamento entre tirantes.

Já o dimensionamento dos chumbadores tem um outro contexto. Exige o conhecimento da tensão de aderência  $\sigma_a$  do aço e da calda de injeção no terreno em apreço. Para o efeito é comum fazer ensaios de arrancamento de chumbadores que proporcionam o valor estatístico mínimo de

$$\sigma_a = \frac{S}{\pi \cdot d \cdot l} \quad 4)$$

onde S é a carga mínima de arrancamento, d o diâmetro da haste e l o seu comprimento. Com esse valor e conhecida a pressão p desenvolvida pelo maciço, determinam-se os comprimentos e a distribuição das ancoragens que, como se disse, neste caso se limitarão beneficiar as propriedades mecânicas do maciço não intervindo directamente no estado de tensão.

### 3. A ancoragem de taludes

Muito do que se disse a respeito da ancoragem das escavações subterrâneas é aplicável a céu aberto, feitas as imprescindíveis adaptações.

No caso de taludes em rocha pode admitir-se que tendem a romper profundamente, sendo o equilíbrio limite atingido ao longo de superfícies planas, circulares ou espiraladas, como é costume conceber para os taludes em solos. É também vulgar em terrenos de matriz resistente e de descontinuidades espaçadas, admitir deslizamentos ao longo de descontinuidades ou o tombamento de blocos.

No primeiro caso é costume obviar ao deslizamento, calculando o esforço sobre as ancoragens produzido pela mobilização da massa rochosa delimitada pelo talude e pela superfície de equilíbrio-limite ou pela superfície com o menor factor de segurança, que se considera a mais instável e capaz de proporcionar roturas. Elas são vulgarmente investigadas pelos métodos usuais da Mecânica de Solos, atribuindo ao terreno os parâmetros de resistência de maciço rochoso. Este procedimento obriga a manipulações expeditas desses parâmetros, para os adaptar à fenomenologia dos solos, que nem sempre são fáceis.

Deste modo, projectam-se os sistemas de ancoragem de modo a evitar-se o deslizamento dessas massas rochosas, quer sejam chumbadores que evitarão que haja desagregação ou rotura do material, pois para isso será necessário que os esforços do terreno solicitem primeiro o aço até ao seu limite de escoamento, quer tirantes que introduzirão forças ao longo da hipotética superfície de instabilidade de modo a afastarem-na da envolvente de rotura.

Para este fim e dado o seu diferente princípio de funcionamento, é comum considerar os impulsos activos no caso da aplicação de tirantes, pois estes agem introduzindo esforços contra o talude e os impulsos passivos no caso do uso de chumbadores que resistem à descompressão do maciço e à sua desagregação.

Estas regras gerais são todavia de âmbito muito teórico pois nas condições reais da maioria dos problemas em mãos, no caso do uso de chumbadores, seria necessário procurar as superfícies de equilíbrio-limite ou as mais desfavoráveis tão profundamente, que o seu comprimento inviabilizaria a sua utilização. Contudo, na prática, isso deve-se também à vulgar estimativa dos parâmetros do material rochoso muito a favor da segurança. É muito difícil obedecer a regras devendo cada caso ser tratado de acordo com as suas peculiaridades.

Em relação aos deslizamentos ao longo de descontinuidades haverá também necessidade de estimar cuidadosamente os seus parâmetros de resistência. Sendo C a coesão ao longo da descontinuidade e  $\phi$  o seu ângulo de atrito, a equação geral de equilíbrio será

$$(N + \Delta N) \operatorname{tg} \phi = (T - \Delta T) - C \quad 5)$$

onde  $N$  e  $T$  são as componentes normal e tangencial à descontinuidade do peso do terreno suprajacente e  $\Delta N$  e  $\Delta T$  as componentes segundo as mesmas direcções, do esforço estabilizador  $t$  introduzido pelas ancoragens (Fig. 6).

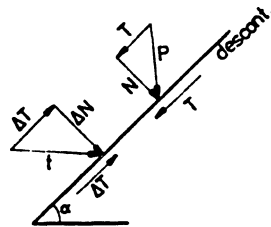


Fig. 6 - Estabilização de uma descontinuidade

A melhor orientação a dar ao esforço  $t$  é um assunto que se deverá estudar em cada caso particular, em função duma maior facilidade de execução das ancoragens, da economia no comprimento dos dispositivos e dos valores  $\Delta T$  e  $\Delta N$  que se pretendem introduzir, função das características da descontinuidade e da sua atitude.

O tombamento de blocos poderá prevenir-se aliviando as sub-pressões nas descontinuidades que os individualizam, ou por outros procedimentos mais ou menos localizados que as situações sugerem. Será sempre de grande benefício realizar furos de drenagem que permitam aliviar as sub-pressões nos terrenos, quase sempre desfavoráveis à estabilidade e que é preciso contabilizar. Os blocos podem ainda ser chumbados ou removidos se as suas dimensões o permitirem e se a sua posição em relação a obras ou bens se queiram preservar o aconselharem.

#### 4. Ancoragens noutras situações

Outros casos existem em que é conveniente o uso de ancoragens. Por exemplo, por vezes é necessário fixar uma peça ou um equipamento fortemente solicitado e serem as ancoragens os dispositivos mais adequados a esse fim.

Um caso interessante do uso de ancoragens foi o sistema projectado para a casa das bombas do empreendimento hidráulico de Pedra do Cavalo, no Brasil, que com o enchimento do reservatório tenderia a flutuar (Fig. 7).

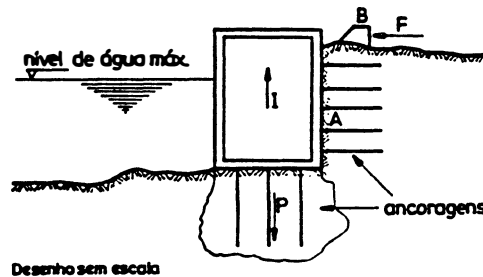


Fig. 7 - O dispositivo de ancoragens em torno da casa das bombas de Pedra do Cavalo.

Solucionou-se este problema admitindo que uma malha adequada de ancoragens no piso do edifício conseguiria resistir ao esforço vertical da impulsão I de Arquimedes, desde que dispusesse de um comprimento suficiente para englobar um volume rochoso de peso superior. Esse lastro de peso P fixado à base do edifício garantiria pois a sua estabilidade em face da impulsão da água.

## 5. Acções dinâmicas

Por vezes é necessário ainda em fase de projecto, considerar minuciosamente acções dinâmicas sobre as ancoragens como as causadas por explosões nas proximidades.

As ancoragens e principalmente as subterrâneas, têm frequentemente um carácter de suporte provisório, sendo possível na maioria dos casos observá-las durante a sua vida útil e fazer as correcções que se julgarem convenientes. Deste modo depois das explosões ou quando as especificações construtivas assim o exigirem, é comum verificar-se o seu estado vendo se não se relaxaram ou se não ficaram inoperantes pelos danos sofridos. Em trabalhos definitivos ou de longa vida útil, havendo vibrações terá de se prever cuidadosamente o tipo de material de injeção a usar, a fim de se evitar que, com o serviço, os tirantes vão perdendo a tensão e o material do enchimento do anular rompendo. As resinas de alta resistência são muitas vezes nestes casos, as preferíveis. Deverão possuir um comportamento de serviço muito próximo do elástico e um módulo de elasticidade e uma resistência que permitam acumular energia de deformação sem fendilharem.

Naqueles casos em que no projecto do suporte se tiverem de calcular as acções dinâmicas sobre os tirantes, o procedimento mais geral a adoptar, será estimar o volume de material rochoso potencialmente instabilizável pelas vibrações, determinar a aceleração máxima induzida no terreno (nas escavações subterrâneas é vulgarmente a abóbada que tem maiores problemas de estabilidade) e concluir qual a sobrecarga introduzida pelas vibrações.

Não é descabido considerar em primeira aproximação como sendo potencialmente mobilizável o mesmo volume rochoso que nos estudos de estabilidade estáticos vistos anteriormente, pois as envolventes geométricas desse terreno, uma vez confinado pelas ancoragens, em geral ficam a favor da segurança, sendo os materiais soltos os mais sensíveis à desagregação por efeito das vibrações. Todavia, cada caso deverá ser analisado minuciosamente, sobretudo se houverem feições desfavoráveis que tendam a deslizar ou a desmoronar.

A máxima aceleração induzida no terreno deverá ser estabelecida em ensaios de carga de explosivo versus distância ou pelo cálculo onde fôr possível fazê-lo com aproximação considerada suficiente. Com efeito pode, por exemplo, considerar-se a energia do desmonte inicialmente concentrada na frente, como sendo distribuída numa frente de onda englobando um volume esférico centrado na origem do desmonte. Dependendo da reologia do maciço, assim se poderão introduzir factores dissipativos da energia que se propaga no terreno, sendo que em rochas de comportamento elástico e de boa qualidade, em princípio eles se não deverão utilizar, considerando-se o amortecimento nulo por razões de segurança.

Chen et al indicam uma rotina de cálculo das acelerações e velocidades induzidas por sismos naturais em escavações subterrâneas em solos que poderão fornecer valores indicativos para maciços rochosos, feitas as necessárias adaptações. Porém, é de esperar que o espectro de vibrações produzido pelas explosões seja substancialmente diferente do recebido dos sismos naturais, pelo que serão difíceis tais adaptações.

Situações existem todavia, em que se recorre a soluções mais vincadamente pseudo-estáticas. Por exemplo, no projecto da casa das bombas de Pedra de Cavallo referido no número anterior, era preciso tomar em conta o efeito instabilizador sobre o tálude A do choque dum



móvel contra o bloco de espera B. Havendo que estudar o sistema de protecção do talude, não se dispunha de estimativas das acelerações induzidas no terreno pelo choque, razão porque, numa primeira análise, se pensou em considerar toda a energia cinética do móvel transmitida ao talude e às ancoragens que o suportavam, o que obrigava a atenta consideração da energia de deformação nelas acumulável e no volume de terreno que directamente as envolvia. Era preciso verificar se a curva tensões-deformações do maciço, uma vez instaladas as ancoragens era de molde a garantir a integridade do volume rochoso interessado, não se degradando face à energia do choque transmitida ao maciço.

Como a passagem do trem de ondas solicitava o maciço à tracção, pelo facto de se dever admitir que este não tinha resistência à tracção pois era percorrido por descontinuidades, admitiu-se, a favor da segurança, que para resistir às acções dinâmicas apenas se deveriam considerar a resistência à tracção e o módulo de elasticidade do aço.

Além disso sugeriu-se a comparação do dispositivo que estes resultados aconselhavam, com o estimado pela consideração da quantidade de movimento e do impulso do móvel anulados numa fracção de segundo contra o bloco de espera B. Neste caso a estimativa do tempo de anulação do impulso do móvel contra o bloco de espera, dependia fortemente da sua construção e funcionamento. Por medida de segurança admitia-se que o choque era elástico e que todo o esforço F sobre B era transmitido às ancoragens, desprezando-se a dispersão da energia no maciço.

Soluções como as preconizadas são, aparentemente, bastante conservadoras, mas necessárias em face do desconhecimento dum comportamento mais aproximado dos terrenos sob solicitação dinâmica. É este um vasto campo para a investigação experimental apoiada por métodos de cálculo automático

## **6. O Uso de ancoragens em terrenos de má qualidade**

Quando o terreno é tão fracturado que a dimensão média dos clastos é insuficiente para o uso de tirantes, é mais adequado injectá-lo com um material ligante e em seguida aplicar chumbadores, serviço esse com a finalidade específica de melhorar a resistência e a deformabilidade da rocha.

No caso de o terreno possuir suficiente continuidade mas fraca resistência, ainda os chumbadores são a solução mais conveniente. Situações existem todavia, em que é oneroso usar este sistema. É pois bastante mais indicado em certo tipo de rochas como filitos, argilas xistosas, margas, rochas decompostas, utilizar "tirantes frouxos" que inclusivé poderão ser posteriormente recuperados em muitas situações uma vez cumprida a sua função. Entende-se por tirante frouxo um dispositivo de haste tensionado muito abaixo da sua carga de rotura e abaixo da resistência do terreno em que foi aplicado, já de si bastante pequena. Destina-se a funcionar quase sempre por suspensão, com algum benefício do estado de tensão do maciço, em situações onde a aplicação de toda a capacidade de trabalho do tirante romperia a rocha.

Também em certos casos será possível jogar com o comprimento a dar aos tirantes. Em princípio, quanto mais compridos, maior será a tensão que se poderá aplicar, dentro de limites exigindo grande prudência, pois, para o mesmo esforço introduzido, as superfícies potenciais de rotura causadas pelo esforço das ancoragens aumentam de área com o seu comprimento.

Em maciços traccionados o uso de tirantes pode levar à rotura do material. A solução é ancorar os tirantes fora dessas zonas, funcionando por suspensão, ou ainda colocá-los obliquamente de modo a afastarem a rocha da situação de rotura pela introdução de duas

componentes compressivas  $C_1$  e  $C_2$  adequadamente orientadas, uma das quais contrariará as tracções (Fig. 8).

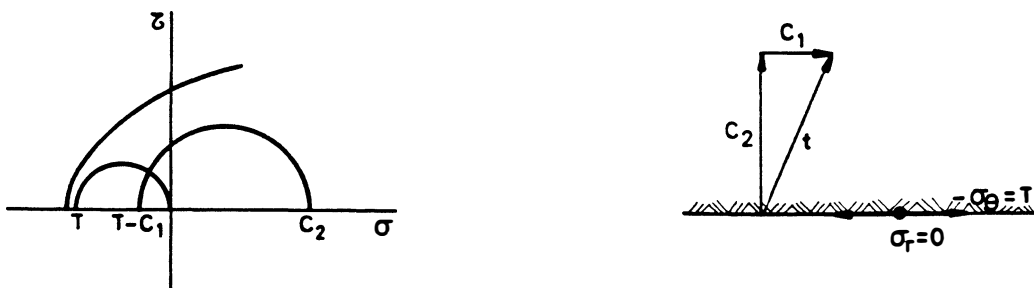


Fig. 8 - Tirantes em zona traccionada

## 7. O uso de ancoragens em rochas plásticas

Há inconvenientes no uso de tirantes em rochas plásticas porque fazem escoar a rocha para a sua tensão de trabalho. Há a possibilidade de melhorar localmente a qualidade do maciço com as hastes mas não de absorver significativa porção da energia de deformação com esses elementos mais rígidos de aço introduzidos no terreno.

A aplicação de tirantes em rochas plásticas só é válida para cargas muito pequenas ainda no trecho da curva de tensões  $\times$  deformações relativamente inclinado. Ao longo do tempo, com a fluência e o escoamento do terreno, tenderão a relaxar e a perder a tensão.

Em relação a este aspecto os problemas em Engenharia de Minas põem-se com uma feição diferente dos da Engenharia Civil. Enquanto neste domínio há a constante preocupação de manter as escavações sem deformações apreciáveis - a simples fractura dum revestimento, sem problemas de estabilidade, pode ser considerada com um indício desanimador - pelo contrário na Engenharia de Minas um dos talentos do responsável pelos trabalhos consistirá em tirar partido das tensões instaladas no terreno para determinar o seu desmonte. A maioria das câmaras, desmontes, galerias, chaminés e passagens, destina-se a ser abandonada, cumprida a função provisória a que se destinam. Assim é admissível o uso em minas de tirantes em rochas plásticas quando se destinam a uma curta vida útil.

## 8. A execução de tirantes

Pode afirmar-se que na execução de um atirantamento o serviço mais dispendioso é o da perfuração dos orifícios para a sua instalação no maciço. As outras operações são bastante simples, envolvendo matérias-primas geralmente baratas.

Se se destinar a constituir um dos elementos estruturais essenciais à estabilidade da escavação, o trabalho de instalação tem de ser cuidadoso para se obter relativa certeza de que realmente cumpre a sua função, introduzindo as compressões previstas.

Os tirantes podem ser fixados no interior do maciço mecanicamente, com calda de cimento, ou com resina acondicionada em pacotes que a própria haste aperta contra o fundo do furo, os quais rebentam e rapidamente secam.

A outra operação consiste no tensionamento da haste até à carga de trabalho prevista e no enchimento do anular do furo. Este deverá ter uma corôa de pelo menos 3 mm de espessura nos tirantes de haste mais ligeiros.

Não existe normalização sobre o assunto, mas sejam as ancoragens de haste ou as de cordoalha, de grande capacidade de trabalho, a separação entre o aço e a parede do furo deverá permitir a fácil e regular instalação da fixação dos tirantes e do material de enchimento do anular (operação vulgarmente designada por "injecção") incluindo o sistema de "suspiro" para saída do ar do furo.

Alguns problemas se põem quanto à realização da ancoragem propriamente dita, isto é, da porção do tirante que fixa a haste no furo e que garante o esforço aplicado. Será preciso que a extremidade fique solidamente plantada no interior do maciço de modo a haver boas garantias da execução do esforço no outro extremo, na placa. Se a cabeça expansiva da ancoragem escorregar ou a resina ou a calda de cimento não preencherem completamente a região que lhe compete, não se poderá garantir, no todo ou em parte, a tensão a introduzir no maciço.

Depois há a necessidade de evitar a deterioração do varão ou da cordoalha se o atirantamento tiver carácter definitivo ou se se destinar a proteger a escavação por muito tempo. As caldas de cimento e as resinas continuam a ser as substâncias de uso mais comum para este fim.

Não há regras sólidas para a escolha de umas ou outras. Geralmente as caldas são mais solúveis na presença da água e frequentemente não preenchem tão bem o anular do furo por simples deficiências de execução. Nalguns casos a ocorrência de água prejudica muito os trabalhos por tender a diluir as suspensões ou a impedir a injecção. A vantagem do uso das caldas de cimento está no seu baixo preço. As resinas são bastante mais caras mas a execução pode ser mais perfeita, usando-se onde tirantes convencionais não satisfazem.

Outro aspecto que convém prevenir é a corrosão electrolítica das ancoragens. Por isso nelas se deve proibir o uso de ligações à terra.

A colocação de chumbadores é bastante mais simples e a sua manutenção mais fácil porque não há necessidade de tensionar as hastes o que complica as operações. Isso não significa menores cuidados de execução porque deverão funcionar adequadamente quando solicitados à tracção pelo terreno, beneficiando a qualidade do maciço, o que só se consegue com injecções bem feitas.

Onde fôr possível deverão inclinar-se ligeiramente os furos para baixo, permitindo o completo preenchimento dos anulares dos orificios por simples gravidade. Evidentemente que no tecto das escavações isso não é possível pelo que o controle de qualidade nessa posição põe maiores dificuldades.

Para obtenção de parâmetros de projecto é costume fazer ensaios de arrancamento. Estes ensaios bem como a verificação da tensão a que a haste está sujeita são mais vulgares quando o custo dos dispositivos é elevado e de grande responsabilidade.

O problema da determinação do número de ensaios e de verificações a realizar é um problema de amostragem estatística. Fixada a capacidade de trabalho média que se deverá observar é uma questão de se ver se a máxima dispersão das tensões aceitável não foi excedida.

Em relação a tirantes de alta capacidade de grande responsabilidade, é essencial fazê-lo porque podem ocorrer execuções deficientes e acontecer avarias como o rompimento de fios em ancoragens de cordoalha, relaxamentos de arruelas, escorregamentos dos trechos de ancoragem, descalçamento das placas e blocos de ancoragem pela deterioração do perfil da escavação.

Nestes tirantes há grande preocupação na colocação dos materiais de fixação e de injecção que se podem perder por infiltração na rocha. Por isso convém fazer ensaios de perda de água antes da instalação para se estudarem os padrões de fracturamento do maciço e verificar se

há necessidade de uma prévia injeção do terreno ao longo dos furos, para obturação das descontinuidades, com posterior reperfuração e instalação das ancoragens, cujo funcionamento só assim será garantido.

## **9. Conclusão**

Vimos alguns aspectos relevantes a ter em mente quando se aborda o problema de ancorar escavações, principalmente se os dispositivos forem destinados a uma longa duração ou a sua instalação tiver um carácter mais ou menos definitivo, com grande responsabilidade, que seja necessário prever em projecto.

Como na maioria das tentativas de sistematização dos problemas de Mecânica de Rochas, apenas foi possível expôr normas gerais e directrizes que deverão ser adaptadas a cada caso concreto.

## **Bibliografia**

Chen, P.C., Deng, D. Z. F., Birkmyer, A. J. - Consideration of dynamic stress concentrations in the seismic analysis of buried structures.

Cunha, A. P.- Comportamento e segurança de estruturas subterrâneas em maciços rochosos, LNEC, Lisboa, 1991.

Gomes, M. J. Leal - Critérios de dimensionamento de ancoragens em escavações subterrâneas, Geotecnia 25, Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 1979.

Gomes, M. J. Leal - A acumulação de energia na vizinhança das escavações subterrânea e a sua estabilidade, Geotecnia 56, Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 1989.

Mendes, F. Mello - Mecânica de Rochas, AEIST, Lisboa, 1968.

Redaelli, L. - Métodos de escavação em rocha, Universidade de São Paulo, 1975.

Rocha, Manuel - Estruturas subterrâneas, LNEC, Lisboa, 1976.

Rocha, Manuel - Mecânica de rochas, LNEC, Lisboa, 1973.

Széchi, Károli - The art of tunneling, Budapest Akademi Kiadó, 1966