

2 ASPECTOS BÁSICOS DE ANCORAGENS

A utilização de obras ancoradas em solo ou rocha é atualmente bastante empregada no Brasil, seja na execução de estruturas de contenção quanto na estabilização de taludes e encostas em solo ou rocha.

A ancoragem é basicamente constituída por um ou mais elementos de aço protegidos contra a corrosão (barras, fios ou cordoalhas genericamente designadas como tirantes) capaz de suportar esforços de tração e de transmiti-los ao solo através da interação com o bulbo, este formado por injeção de calda de cimento sob pressão e fixado ou ancorado na região estável do maciço. O bulbo não deve romper-se por arrancamento e tampouco sofrer deformações demasiadas sob a ação de cargas de longa duração (fluência), com uma margem de segurança adequada. Pela NBR-5629, os valores do fator de segurança contra o arrancamento devem ser no mínimo 1,75 (para tirantes definitivos) e 1,5 (tirantes provisórios), enquanto que ao menos 1,5 contra a fluência.

O trecho que liga a cabeça (extremidade do tirante fora do solo) ao bulbo é conhecido como trecho ou comprimento livre que, pela norma brasileira NBR-5629, não pode ser inferior a 3m.

O diâmetro do furo é cerca de 10 a 15cm, dependendo da montagem do tirante, de modo que sua instalação não encontre resistência e seja assegurado o recobrimento mínimo de 2cm do aço na região do bulbo.

2.1. Partes do tirante

2.1.1. Cabeça

Suporta a estrutura, possuindo os seguintes componentes principais: placa de apoio, cunha de grau e bloco de ancoragem.

A placa de apoio tem como função à distribuição da carga do tirante (figura 2.1) e é normalmente formada por chapas metálicas (uma ou mais) de tamanho

conveniente para transmissão de tensões de compressão aceitáveis sobre a estrutura de contenção.

A cunha de grau é um elemento empregado para permitir o alinhamento adequado do tirante em relação à sua cabeça, sendo normalmente constituído por um cilindro ou chapas paralelas de aço. Quando a carga de trabalho do tirante não é muito alta, em geral a chapa de apoio e a cunha de grau formam uma peça única.

A norma NBR-5629 denomina genericamente de bloco de ancoragem as peças que prendem o tirante na região da cabeça. Na prática, estas peças podem ser de três tipos: a) porcas, usadas em tirantes de barra onde existem roscas; b) cunhas, em tirantes com fios ou cordoalhas múltiplas; c) botões, onde a ponta de cada fio é prensada num macaco para formar um bulbo com diâmetro maior, para ser em seguida presa a uma peça de aço, com múltiplos furos de diâmetro praticamente igual ao dos fios.

2.1.2. Trecho livre

É à parte do tirante onde o aço se encontra isolado da calda de injeção. Os fios ou cordoalhas são normalmente engraxados, envoltos individualmente por tubos plásticos e, em algumas situações especiais, o conjunto é ainda protegido no interior de um tubo adicional para garantir proteção extra. Na transição entre os trechos livre e ancorado, os tubos são vedados com massa plástica para não permitir o contato da calda de cimento com o tirante no trecho livre.

2.1.3. Trecho ancorado

Parte encarregada de transmitir ao solo os esforços suportados pelo trecho livre, formado pela injeção de calda de cimento na proporção 0,5 entre pesos de água e cimento. O número de fases de injeção e a quantidade de calda injetada dependem muito da experiência do executor ou operador, sendo em geral aplicadas de 1 a 4 fases de injeção com volume de calda injetada de 20 a 60 litros por fase de injeção. Os ensaios das primeiras ancoragens da obra devem indicar se deve ou não ser necessário um incremento do número das fases de injeção inicialmente programadas.

Por apresentarem características mecânicas diferentes, o comprimento necessário para ancorar o aço na calda de cimento é significativamente menor do que o necessário para ancorar o bulbo no solo. O aço deve receber uma pintura anticorrosiva, que não prejudica significativamente a sua aderência com a calda de cimento, e um recobrimento mínimo de 2cm de calda no contato com o terreno. Para solos agressivos, o valor do recobrimento recomendado é 3cm, podendo-se utilizar bainhas de proteção nos casos de solos muito agressivos. De modo geral, para que o aço receba um envolvimento completo pela calda no trecho ancorado, é usual o emprego de espaçadores plásticos a intervalos de 2 a 3m que mantêm cada elemento do tirante com o distanciamento mínimo com o solo e entre elementos vizinhos (de 3 a 5mm).

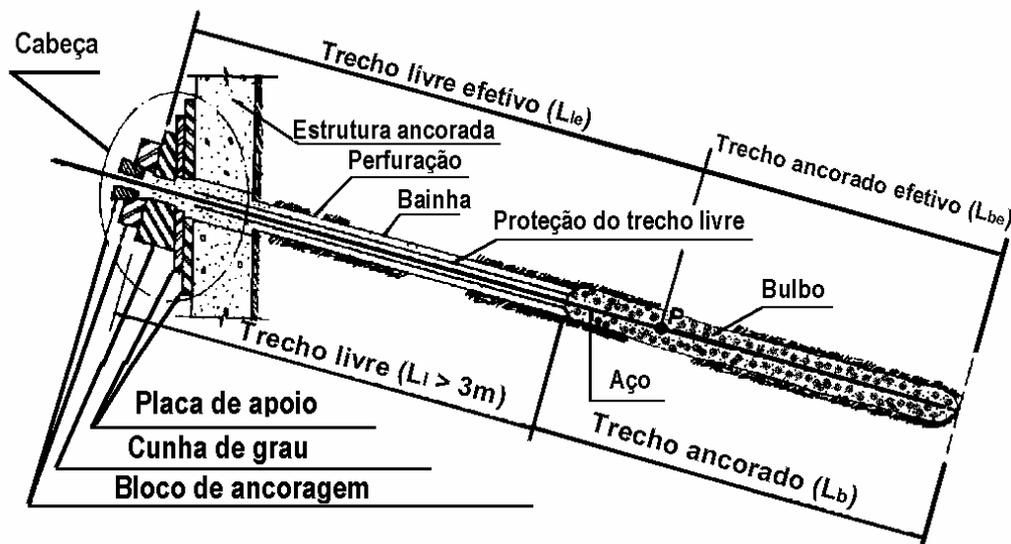


Figura 2.1 – Esquema de Tirante (Yassuda e Vieira Dias, 1998)

No processo de transferência de carga solo-bulbo a resistência frontal do bulbo para efeitos de projeto é geralmente desprezada e a capacidade de carga da ancoragem é considerada função apenas da sua resistência lateral, cuja mobilização depende do deslocamento relativo ocorrido entre o bulbo e o solo.

Este mecanismo de transferência de carga, que admite um crescimento da tensão cisalhante mobilizada até um valor limite, tem sido muitas vezes confirmado em provas de carga em fundações e em ancoragens. Alguns autores (Bustamante e Doix, 1985; Mecsi, 1977, dentre outros) admitem que com a continuidade do deslocamento do bulbo a tensão cisalhante conserva seu valor

máximo, resultando portanto numa distribuição uniforme das tensões cisalhantes ao longo do bulbo no final do carregamento, enquanto que outros (Hanna, 1982; Barley, 1997, etc) consideram que devido aos relativamente altos valores do deslocamento do bulbo a tensão cisalhante decresce gradualmente para um valor residual. Barley (1997) chama este decréscimo de ruptura progressiva, exemplificando que durante o carregamento de uma ancoragem típica com 6m de comprimento o topo do bulbo se desloca de 15mm a 20mm antes que qualquer carga tenha sido transferida à base do bulbo, justificando, segundo aquele autor, a hipótese de que quando a tensão cisalhante atinge o valor limite no trecho final do bulbo seu valor já diminuiu para o residual em seu trecho inicial.

Segundo Novais (2001), a experiência brasileira parece comprovar que em ancoragens reinjetáveis sob alta pressão a tensão cisalhante ao longo do bulbo permanece praticamente constante após atingir seu valor máximo, independentemente do tipo de solo, enquanto que em ancoragens não reinjetáveis, injetadas sob baixa pressão, tem sido observado um significativo comportamento de pico para deslocamentos relativamente altos do bulbo (da ordem de 100 mm).

Na prática da engenharia, a capacidade de carga da ancoragem é considerada diretamente proporcional ao comprimento de ancoragem, mesmo para aquelas executadas sob baixas pressões de injeção, utilizando geralmente valores médios da resistência ao cisalhamento na interface solo-bulbo, como os sugeridos por Jimenez Salas (1980) na tabela 2.1.

Tabela 2.1- Resistência média ao cisalhamento de bulbos injetados (Jimenez Salas, 1980).

Tipo de terreno	Resistência média ao cisalhamento (MPa)
Rochas duras	1,00 a 2,50
Rocha solta	0,30 a 1,00
Areias e pedregulhos	0,70 a 1,00
Areia media a fina	0,30 a 0,60
Argila com resistência a compressão simples	
a) > 0,4 MPa	>0,80
b) 0,10 a 0,40 MPa	0,40 a 0,80
c) 0,05 a 0,10 MPa	0,25 a 0,40

2.2. Protensão de ancoragem

A finalidade de protensão é tracionar a ancoragem, colocando-a sob carga antes da aplicação dos esforços provenientes do maciço de solo com o objetivo de diminuir os deslocamentos da estrutura de contenção.

De acordo com a norma NBR-5629 a fase de protensão da ancoragem deve ser executada após decorridos 7 dias da cura da calda com cimento Portland comum ou após 3 dias quando da utilização de calda com cimento de alta resistência inicial. A norma prescreve a realização do chamado ensaio de recebimento, que tem como finalidade avaliar a capacidade de carga das ancoragens com base nas curvas de carga x deslocamento obtidas nos ensaios de campo. A avaliação inclui a verificação da estabilização do deslocamento total para a máxima carga de ensaio e a análise das componentes elástica e permanente dos deslocamentos da ancoragem. A componente elástica é considerada resultante do alongamento do trecho livre enquanto que a parcela permanente é atribuída ao deslocamento do bulbo que, por sua vez, é considerado indeformável. Para a aprovação (ou recebimento) da ancoragem, deve ser observada a estabilização do deslocamento total do topo para a carga máxima de ensaio prevista e o deslocamento elástico deve estar contido dentro dos limites inferior e superior representados respectivamente pelas curvas “a” e “b” na figura 2.2. A norma NBR-5629 prescreve que a ancoragem, por questões executivas, possa apresentar variação do comprimento previsto do bulbo. Para o limite superior do deslocamento elástico (curva “a”) admite-se que o comprimento do bulbo seja 50% menor do que projetado e para o limite inferior (curva “b”) considera-se que 20% do trecho livre tenha sido adicionado ao bulbo.

Para cada obra a NBR-5629 prescreve dois ensaios de recebimento e dois ensaios de fluência, realizados em geral simultaneamente. No primeiro ensaio, após cada estágio de carregamento, a ancoragem é descarregada até a carga inicial de protensão, cerca de 10% da carga prevista. Segundo a norma, através deste ensaio é possível avaliar a perda de carga por atrito ao longo de trecho livre, indicada pela alta rigidez apresentada pela ancoragem no início do carregamento. Esta perda de carga deve ser limitada em 15% da carga máxima de ensaio, a partir da carga inicial de protensão.

O procedimento para o ensaio de fluência é semelhante ao do ensaio de recebimento, sendo que em cada estágio de carregamento do topo da ancoragem sob carga constante, durante intervalos de tempo pré-definidos, determina-se o coeficiente de fluência (CF), que está relacionado com o comportamento da ancoragem ao longo do tempo em termos de permanência da carga incorporada. A figura 2.3 apresenta resultados típicos para ensaios de recebimento e de fluência.

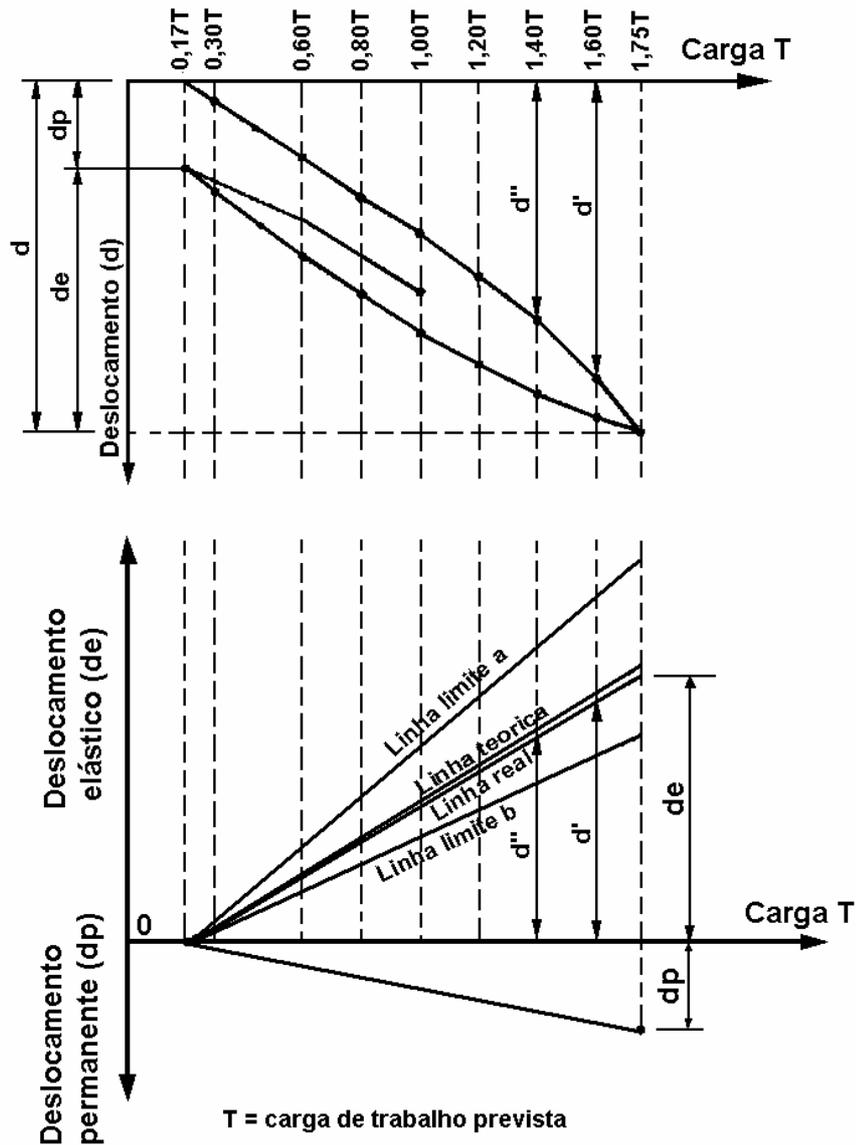


Figura 2.2 – Ensaio de recebimento (NBR-5629).

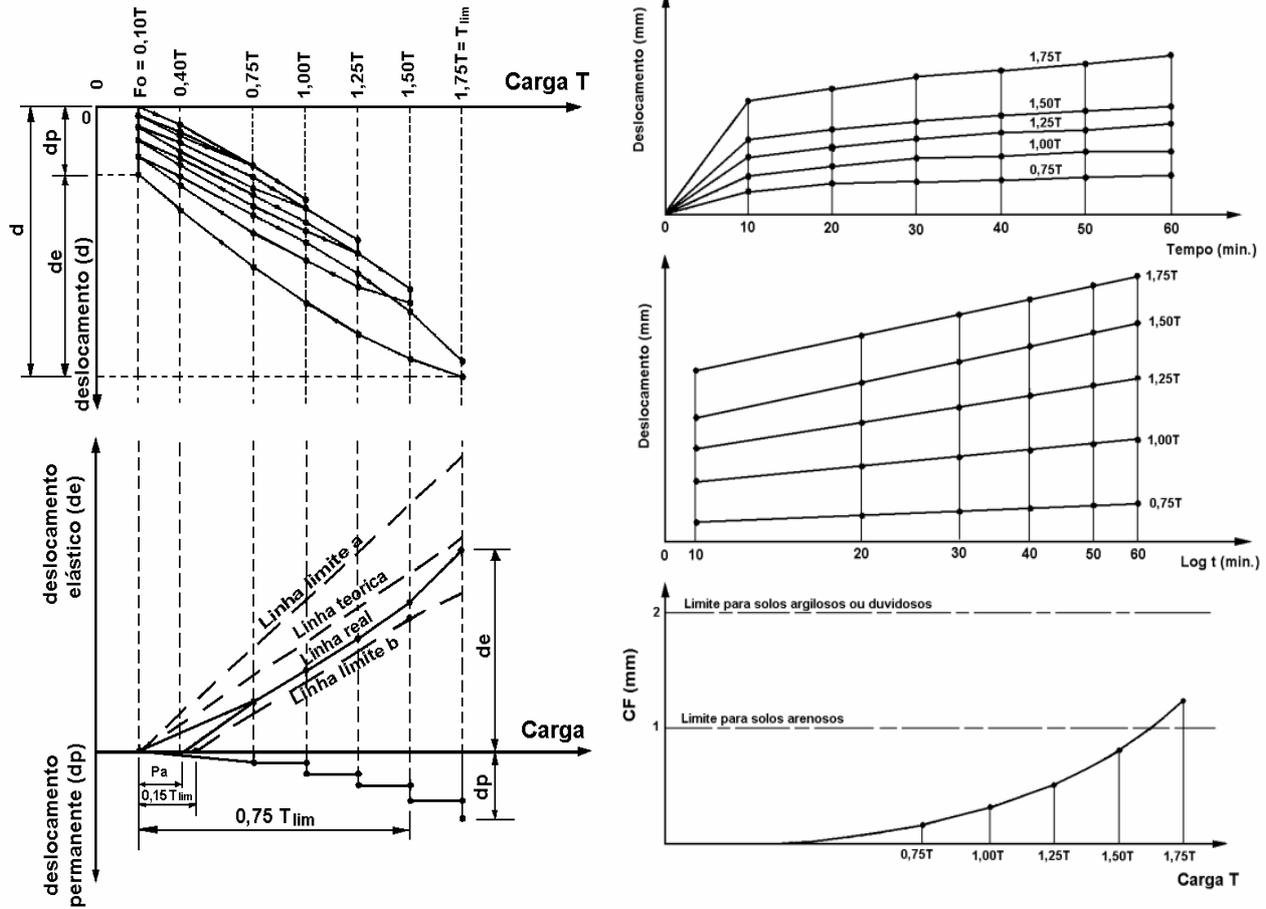


Figura 2.3 – Ensaio de recebimento (esquerda) e ensaio de fluência (direita) recomendados pela NBR-5629.

2.3. Tipos de tirantes

2.3.1. Quanto à vida útil

Conforme a norma brasileira, os tirantes podem ser classificados quanto à vida útil em tirantes permanentes, que se destinam a obras com duração superior a 2 anos, e tirantes provisórios, inferior a 2 anos. A distinção entre os tipos de tirante é importante pois os valores do coeficiente de segurança, as recomendações de proteção anticorrosiva e as precauções construtivas dependem da vida útil da ancoragem. A figura 2.4 ilustra um tirante permanente típico.

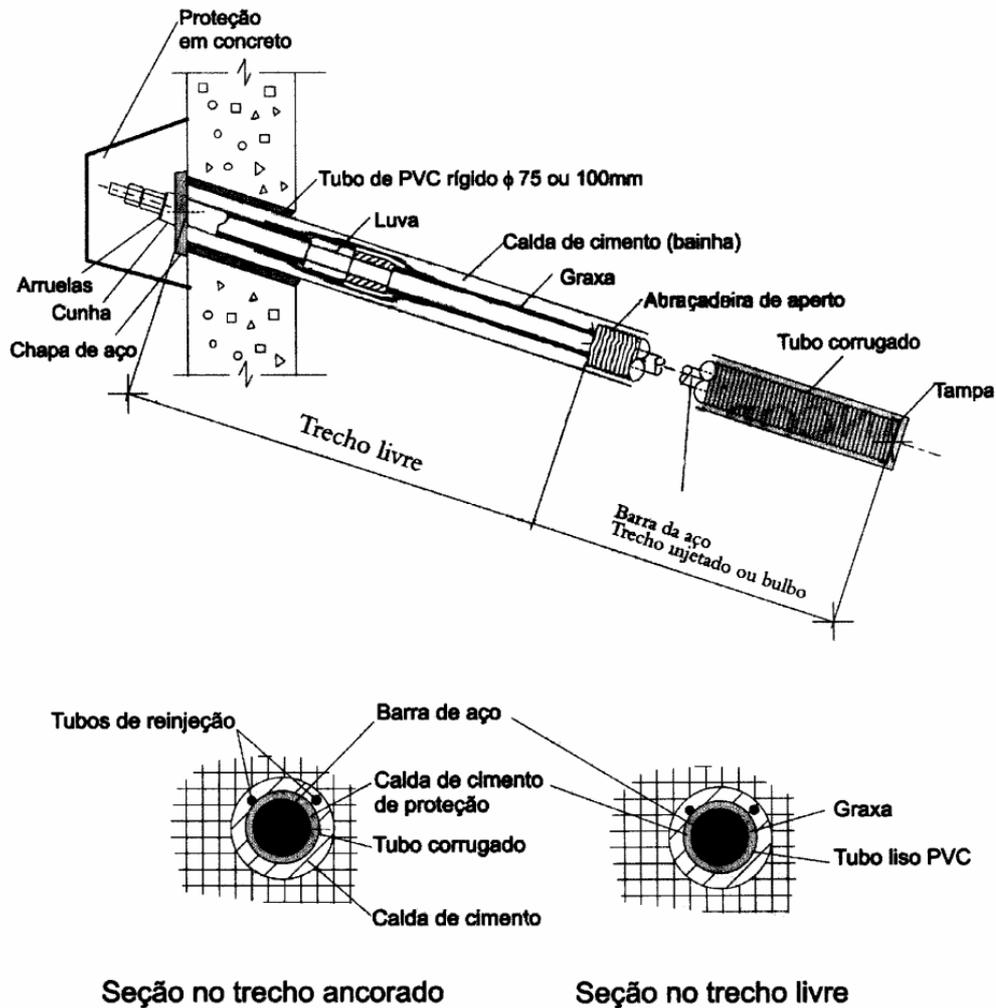


Figura 2.4 – Tirante permanente típico (GeoRio, 2000).

2.3.2. Quanto à forma de trabalho

Os tirantes podem ser classificados como ativos ou passivos. Tirantes ativos são aqueles que estão permanentemente sob carga, independentemente dos esforços atuantes no solo ou na estrutura de contenção; em outras palavras, caracterizam os tirantes protendidos. Em contraste, nos tirantes passivos a carga só começa a atuar quando o maciço de solo ou a estrutura o solicitar, reagindo aos esforços produzidos nos mesmos. Na prática os tirantes são raramente passivos. Uma variação dos tirantes passivos é os chumbadores ou pregos (*soil nailings*) que são instalados sem protensão.

2.3.3. Quanto à constituição

a) **Tirante monobarra** – barra única como elemento principal do tirante, freqüentemente empregado no final da década de 1960 e início dos anos 1970, com barras de aço CA-50A (tensão de escoamento 500 MPa, carga de trabalho de 100 a 200 kN) ou CA-60A (tensão de escoamento 600 MPa, cargas de 120 a 240 kN) e diâmetros entre ¾” e 1.¼ “.

Como passar do tempo consolidou-se a tendência de se utilizar tirantes de maior capacidade de carga, necessitando-se, portanto, de aços mais resistentes do que os aços comuns da construção civil. Surgiram então no mercado barras de aço especial (tensão de escoamento de 850MPa, diâmetros entre 19 e 32mm), com mossas protuberantes que funcionam como roscas, permitindo a execução de emendas com luvas especiais bem como a fixação da cabeça através de porcas.

b) **Tirantes de barras múltiplas** – a ancoragem é composta por mais de uma barra de aço. Pouco utilizada no Brasil, sua concepção é a mesma dos tirantes de fios ou cordoalhas, exceto pelo bloco de ancoragem que requer um sistema de roscas e porcas para fixação da cabeça e execução da protensão.

c) **Tirante de fios** – os fios são normalizados pela NBR-7482 ou EB-780/90, devendo individualmente apresentar uma área mínima de 50 mm² ou 8mm de diâmetro. Comercialmente se encontram fios com diâmetro 8mm e 9mm, fabricados em aço 150RN, 150RB, 160RN e 160RB (RN= relaxação normal; RB = relaxação baixa). A carga de trabalho no tirante é proporcional à quantidade de fios do tirante, sendo o número destes limitado pelo diâmetro da perfuração. Na prática, a grande maioria dos furos é executada com diâmetros próximos de 115mm (chamado de diâmetro H, igual ao diâmetro externo de um revestimento para solo) o que limita o número de fios em 12 e assegura cargas de trabalho de até 419 kN por tirante. Ensaio executados em solos areno-argilosos de compacidade média indicam que os bulbos obtidos a partir de furos H, com duas fases de injeção sob pressão controlada, podem atingir diâmetros médios da ordem de duas vezes o diâmetro original da perfuração.

Normalmente os fios são pintados com duas demãos de tinta anticorrosiva, com bloco de ancoragem por clavetes e cunhas com proteção contra a corrosão. Apesar destes cuidados, este tipo de tirante está deixando de ser utilizado em virtude de problemas causados pela corrosão.

d) Tirante de cordoalhas – o elemento resistente à tração é constituído por cordoalhas de aço, semelhantes às usadas em obras civis de concreto protendido. Existem vários tipos de cordoalhas normalizadas pelas NBR-7483 e EB-781/90, conforme mostra a tabela 2.2, que podem ser comercialmente adquiridas em aço 175RN, 175RB, 190RN e 190RB. No Brasil, as cordoalhas empregadas têm geralmente diâmetro de 12,7mm, sendo fabricadas em aço 190RB. Usualmente as cordoalhas são pintadas em todo seu comprimento com duas demãos de tinta anticorrosiva.

e) Tirante de materiais sintéticos – fabricados com novos materiais resistentes à corrosão e apresentando elevada resistência à tração, como fibras de carbono ou fibras de poliéster. No Brasil ainda não são aplicados em larga escala como elementos de ancoragem.

Tabela 2.2 – Características principais das cordoalhas e fios (Sondasa, 2001)

		AÇO							TIRANTE		
TIPO	ARMAÇÃO	CATEGORIA	TENSÃO DE ESCOAMENTO DO AÇO fy	MÓDULO DE ELASTICIDADE	SEÇÃO	FORÇA		CARGA MÁXIMA DE ENSAIO	PESO DO AÇO	CARGA DE TRABALHO	
						Fe	Fr			PROVISÓRIO	PERMANENTE
	mm		MPa	GPa	mm ²	kN		kN/m	kN		
BARRA	1 φ 22	CA - 50	500	205	285	140	160	130	2,98	80	70
	1 φ 25				387	190	210	190	3,85	120	110
	1 φ 32	GEWI	500	205	804	400	440	350	6,31	240	200
		DTWIDAG	850		804	680	840	600	6,31	410	350
FIOS	4 φ 8	CP 150 RB	1350	210	201	270	300	250	1,08	160	140
	6 φ 8				302	410	450	370	2,37	240	210
	8 φ 8				402	540	600	490	3,16	330	280
	10 φ 8				503	680	760	610	3,95	410	350
	12 φ 8				604	820	910	730	4,74	490	420
CORDOALHAS	4 φ 12,7	CP 190 RB	1710	19,5	395	680	750	610	3,1	400	350
	6 φ 12,7				592	1010	1130	910	4,65	610	520
	8 φ 12,7				790	1350	1500	1220	6,2	810	690
	10 φ 12,7				987	1690	1880	1520	7,75	1010	870
	12 φ 12,7				1184	2030	2250	1820	9,3	1210	1040

2.3.4.

Quanto ao sistema de injeção

a) **Injeção em estágio único** – a injeção é executada imediatamente antes da instalação do tirante. É o procedimento padrão nos casos de maciços com alta capacidade de suporte (como rochas) onde a aplicação da pressão de injeção não traz vantagens como o alargamento do bulbo ou a melhoria das características de aderência na interface entre o maciço e o bulbo. A injeção em estágio único é geralmente empregada para tirantes de barras suportando cargas baixas, preenchendo o furo com calda de cimento logo após o término da perfuração.

b) **Injeção em estágios múltiplos** – tirantes que dispõem de um sistema auxiliar de injeção, geralmente constituído por um tubo de PVC, de diâmetro entre 32 a 40mm, com válvulas “manchete” a intervalos de 0,5m no trecho ancorado. Esse tubo centralizado é destinado à execução de injeções sucessivas sob pressão, e as válvulas “manchete”, pequenos trechos perfurados do tubo recobertos por uma mangueira flexível, com o propósito de permitir a saída da calda durante a injeção (a válvula abre, isto é, a mangueira levanta) e evitar o retorno quanto esta cessar. Como a válvula “manchete” só permite o fluxo da calda em sentido único, capaz de manter uma pressão residual na calda injetada já que esta é impedida de retornar para o interior do tubo, a formação do bulbo alargado acontece gradualmente. A válvula pode ser reinjetada a qualquer tempo desde que o interior do tubo seja mantido limpo através de um processo de lavagem interna após cada estágio de injeção da calda de cimento. A injeção é feita em pelos menos dois estágios distintos: no primeiro, preenche-se o furo com calda a baixa pressão com o objetivo de expulsar a água acumulada no interior da perfuração, estágio conhecido como injeção de bainha; no segundo, após a pega da bainha (cerca de 10 horas), cada válvula “manchete” é injetada individualmente até se atingir a pressão desejada ou o volume de calda máximo (estágio primário). Caso a pressão não seja atingida, o tubo “manchetado” é lavado e os estágios de injeção são repetidos a cada intervalo de 10 horas (estágio secundário). Em solos de consistência ou compacidade medianas, são necessários apenas os estágios primário e secundário.

2.4. Grau de injetabilidade de solos

Define-se como grau de injetabilidade de solos a magnitude da influência da injeção na melhoria de suas propriedades mecânicas, resultante dos seguintes principais efeitos principais:

- a) densificação do solo, com o aumento do ângulo de resistência ao cisalhamento e da tensão normal na interface solo-bulbo.
- b) tratamento do solo, com a penetração da calda de cimento nos vazios e descontinuidades do maciço.

No início da execução de ancoragens injetadas em solos acreditava-se que esta técnica somente era viável para solos granulares, mas com a introdução do sistema de injeção por manchete e em fases sucessivas (ancoragens reinjetáveis) verificou-se que a melhoria das condições do solo pode ser também razoável para os solos coesivos, conforme dados da tabela 2. 3.

Tabela 2.3 – Grau de injetabilidade de solos (Novais, 2001).

Tipo de solo	Compacidade ou consistência	Grau de injetabilidade parcial			Grau de injetabilidade global
		Aumento do diâmetro do Bulbo	Aumento da Tensão Normal	Tratamento do solo	
Areia média e grossa	Fofa	Alto	Baixo	Alto	Alto
Areia média e grossa	Compacta	Baixo	Alto	Médio	Médio
Areia fina	Fofa	Alto	Baixo	Médio	Médio
Areia fina	Compacta	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Argila	Mole à média	Alto	Baixo	Médio	Médio
Argila	Rija e dura	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Silte	Fofa	Alto	Baixo	Médio	Médio
Silte	Compacto	Baixo	Alto	Baixo	Baixo

Da tabela verifica-se que uma ancoragem executada em areias fofas a injeção da calda de cimento tende a melhorar fortemente as características de

resistência do solo, podendo, neste caso, os bulbos serem dimensionados com menor comprimentos porém com aplicação de mais recursos de injeção. Por outro lado, para argilas rijas a duras a injeção da calda tem poucos efeitos na melhoria global do solo, preferindo-se então adotar o dimensionamento de bulbos com maior comprimento.

Outro aspecto a ser observado é que para solos de maior compacidade ou consistência a mobilização da resistência ao cisalhamento na interface solo-bulbo ocorre sob menores valores de deslocamentos relativos, podendo-se afirmar que geralmente a capacidade de carga de ancoragens será maior nestes tipos de solo (desconsiderando-se os efeitos dos processos de perfuração e de injeção da calda de cimento).

2.5. Especificações da GeoRio

As cargas máximas de ensaio (T_{ensaio}) e de trabalho ($T_{trabalho}$) especificadas para tirantes pela Fundação Instituto de Geotécnica GeoRio, órgão da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, constam da tabela 2.4, sendo obtidas a partir das seguintes expressões:

$$T_{ensaio} = 0,9 f_y \cdot A_s \quad (2.1)$$

$$T_{trabalho} = T_{ensaio} / 1,75 \quad (2.2)$$

onde f_y representa a tensão de escoamento do aço e A_s a área da seção transversal do tirante, descontada a parcela perdida pela confecção de rosca no caso de seção reduzida. As constantes 0,9 e 1,75, correspondem aos fatores de segurança prescritos pela norma NBR-5629. Na tabela são também listados os principais tipos de ancoragem utilizados pela GeoRio bem como suas principais características:

Tabela 2.4 – Principais tipos de aço (adaptado de GeoRio, 2000)

Tipo de aço	Tipo de seção	Diâmetro da barra (mm)	Diâmetro mínimo de perfuração recomendado	Carga máxima de ensaio (T_{ensaio}) kN	Carga de trabalho ($T_{trabalho}$) kN
Dywidag Gewi S 50/55	Plena	32	100	350	200
DywidagST 85/105	Plena	32	100	600	350
CA 50 A	Plena	25	100	230	130
CA 50 A	Plena	32	100	360	200
CA 50 A	Reduzida com rosca	25	100	190	110
CA 50 A	Reduzida com rosca	32	100	260	160
Rocsolo ST 75/85	Plena	22	100	210	125
Rocsolo ST 75/85	Plena	25	100	280	165
Rocsolo ST 75/85	Plena	28	100	360	200
Rocsolo ST 75/85	Plena	38	125	660	375
Rocsolo ST 75/85	Plena	41	125	890	510

2.6.

Vantagens e desvantagens do uso de ancoragens em solo

A principal vantagem da utilização de tirantes advém da capacidade destes elementos estruturais esbeltos em suportarem elevadas cargas de tração. Quando tirantes são empregados para suportarem escoramentos, existe uma limitação imposta pela espessura da estrutura pois, nestes casos, um aumento da distância entre tirantes, que implica no acréscimo das respectivas cargas, ocasiona uma majoração dos momentos fletores que atuam na estrutura em proporção ao quadrado destas distâncias, o que limita o uso indiscriminado de tirantes para suportarem altos valores de carga.

No início da década de 1960, empregava-se tirantes em contenções com cargas de até 200kN, com espaçamento raramente superior a 3m e com placas de concreto armado de no máximo 20 cm de espessura. Atualmente, os espaçamentos entre tirantes tendem a aumentar e, conseqüentemente, a elevação de suas cargas de trabalho para 400 a 800kN, utilizando placas de concreto armado com espessura de 30 a 40cm e para paredes diafragma com até 1,20m de espessura.

Outras vantagens da utilização de tirantes são:

- a) Simplicidade construtiva, pois a carga de reação provém do interior do maciço de solo e os elementos estruturais utilizados são simples (fios, cordoalhas, chapas de aço, porcas e parafusos, ..) e de fácil manuseio o que torna o canteiro de obras bastante desimpedido, se comparado com outras soluções que exigem o emprego de pesadas longarinas, estroncas, contraventamentos, apoios intermediários, etc..
- b) Tirantes são autoportantes, não necessitando de estudos mais detalhados de fundação, como no caso da construção de contenções com muros de arrimo convencionais.
- c) Tirantes são funcionais pois trabalham ativamente devido à protensão. Isto significa que podem suportar esforços com um mínimo de deslocamentos da estrutura, em oposição a outras soluções convencionais que necessitam de uma movimentação para a contenção começar a funcionar.
- d) Todos os tirantes são ensaiados individualmente (ensaios de recebimento), o que representa uma garantia de qualidade de 100% dos elementos construídos em relação à capacidade de carga.

Como desvantagens do uso de tirantes podem ser mencionadas as seguintes:

- a) A maior utilização de tirantes é na construção de cortinas para contenção de solos. Considerando que o comprimento livre deve no mínimo de 3 m e que o comprimento ancorado usualmente tem 5m ou mais, a instalação de tirantes requer perfurações de no mínimo 8m, o que muitas vezes significa penetrar no terreno vizinho nas grandes cidades brasileiras.
- b) As pressões de injeção em geral se situam entre 1–1,5 MPa, suficientemente elevadas para induzir deformações no solo e formar os bulbos de ancoragem. No caso de deformações com linhas múltiplas de tirantes, o acúmulo destas deformações pode ocasionar problemas de levantamento no terreno e afetar as construções aí existentes. A limitação é contornável, controlando-se as pressões de injeção, aumentando-se as dimensões dos bulbos, evitando-se a formação de bulbos na mesma vertical, etc.

- c) Tirantes muito longos tendem a apresentar algum desvio e, conseqüentemente, riscos do desenvolvimento de atrito no trecho livre cujos valores podem superar aqueles admitidos pela norma brasileira.
- d) Possibilidade de corrosão dos tirantes em aço, em determinadas circunstâncias. Segundo Littlejohn (1990) a maioria dos problemas de corrosão ocorrem no trecho livre, na região da cabeça ou até 1m abaixo. No bulbo, o desenvolvimento de corrosão é fenômeno muito raro e, caso ocorra, é sintoma de injeções mal feitas.
- e) Por se tratar de serviço especializado, requer equipe, equipamento e técnicas de controle especializadas, aumentando o seu custo da instalação.
- f) Não são possíveis de serem reutilizados (como no caso de estroscas) e, devido ao processo construtivo em que se baseiam, não são retirados do terreno após a sua utilização, o que pode interferir significativamente na implantação de obras futuras no mesmo local ou nos terrenos vizinhos.

2.7.

Combate a empuxo de terra

É o tipo de aplicação com tirantes (estruturas de contenção) mais utilizada na engenharia civil. Oferece muitas vantagens em comparação a outras soluções, como as seguintes:

- a) A reação é obtida no interior do próprio maciço de solo;
- b) Pode ultrapassar quaisquer obstáculos por perfuração do material;
- c) Podem ser instalados e protendidos na estrutura de contenção, à medida que a escavação vai sendo executada, ou seja, permite a execução de cima para baixo ou baixo para cima;
- d) Para a construção da estrutura atirantada não são executadas escavações adicionais além daquela necessária para obtenção das faces de escavação;
- e) A aplicação de protensão prévia nos tirantes minimiza as deformações do terreno, aspecto importante de ser considerado quando existem construções nas proximidades;
- f) Não impõem obstáculos externos, pois são elementos totalmente enterrados. No caso de escavações, manem o interior livre, ao contrário da utilização de estroscas.

Os tirantes têm sido muito usados para suporte de paredes laterais de escavações para construção de galerias, subsolos de prédios, etc. Têm sido empregados na rotina destas construções desde os casos mais simples com apenas uma linha de tirantes até os casos mais complexos envolvendo linhas múltiplas.

No caso de atirantamento em áreas de escavação, para instalação de linhas múltiplas, se recorre ao método construtivo chamado “método descendente”, onde a execução em dada linha só é iniciada quando a linha de tirantes imediatamente acima estiver integralmente pronta. Dentro de determinada linha, o atirantamento é executado em nichos alternados de modo que um nicho não executado funcione como suporte para aquele sendo trabalhado. Desta forma, o processo permite a execução segura da obra, evitando a descompressão do terreno pelo efeito da protensão dos tirantes, de modo que as deformações são reduzidas a valores mínimos.

O emprego de tirantes não se aplica somente em escavações, mas também como elementos de suporte em áreas de aterro. Na prática, ancoragens em solo têm sido muito utilizadas para obtenção de áreas planas em regiões urbanas de topografia acidentada, mas muito valorizadas, como em diversos locais da cidade do Rio de Janeiro ou em regiões estratégicas para implantação de indústrias, como companhias de mineração próximas às instalações das jazidas.