

Artigo apresentado no 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

# OS TIPOS DE SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NO DESEMPENHO DE ANCORAGENS REINJETÁVEIS

TYPES OF SOILS AND THEIR INFLUENCES ON THE PERFORMANCE OF REINJECTABLE ANCHORAGES

LUCAS DE ARAUJO ESTANQUEIRO

Engenheiro, Universidade Federal Fluminense, lucasestanqueiro@gmail.com

RUBENEI NOVAIS SOUZA

Engenheiro, Universidade Federal Fluminense, rubenei@petrobras.com.br

## RESUMO ABSTRACT

Os tirantes ancorados no terreno, constituídos por elementos resistentes a tração ancorados no maciço e protendidos, representam uma das diversas soluções para sistemas de contenção de encostas, taludes e escavações em geral e têm como principal característica o alto nível de controle dos deslocamentos horizontais da contenção graças à protensão do tirante, que possibilita incorporar a reação necessária antes da atuação do empuxo de terra. Embora os tirantes já vêm sendo amplamente executados desde a metade do século XX, não houve grande desenvolvimento teórico sobre a influência do tipo de solo e da técnica construtiva no seu desempenho, possivelmente em razão da verificação de desempenho de cada elemento que o próprio procedimento executivo possibilita por meio da sua protensão. Contudo, como uma estimativa representativa do comportamento do tirante tende a possibilitar projetos mais econômicos e previsíveis, o presente trabalho busca contribuir com esse desenvolvimento teórico apresentando um estudo sobre os tipos de solo e a influência de seus parâmetros no desempenho deste elemento de contenção.

**Palavras-Chave** – estabilidade de encosta; tipos de solos; estruturas de contenção.

The tieback anchored in the soil, which consists of tensile-resistant element grouted in the soil and prestressed, represents one of several solutions for retaining systems and has as main characteristic the high control of horizontal displacements on retaining walls due to the pretension of tensile-resistant element that making possible to incorporate the necessary reaction before the performance of the earth buoy. Although the tieback has been widely executed since the middle of the 20th century, there were little theoretical development on the influence of the soil type and the constructive technique on its behavior, possibly due to the verification of performance of each element that the executive procedure itself enables through its pretension. However, as a representative estimate of the tieback behavior tends to result more economical and predictable projects, this paper seeks to contribute to this theoretical development by presenting a study about the influence of soil parameters on the tieback behavior.

**Keywords** – slope stability; soil types; containment structures.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os tirantes ancorados e protendidos em solos e rochas são executados largamente em diversos países. Comumente as técnicas

de perfuração, injeção, tipo de tirante, proteção e montagem podem variar de local para local, mas sempre mantendo as características do elemento representadas pela Figura 1 abaixo.

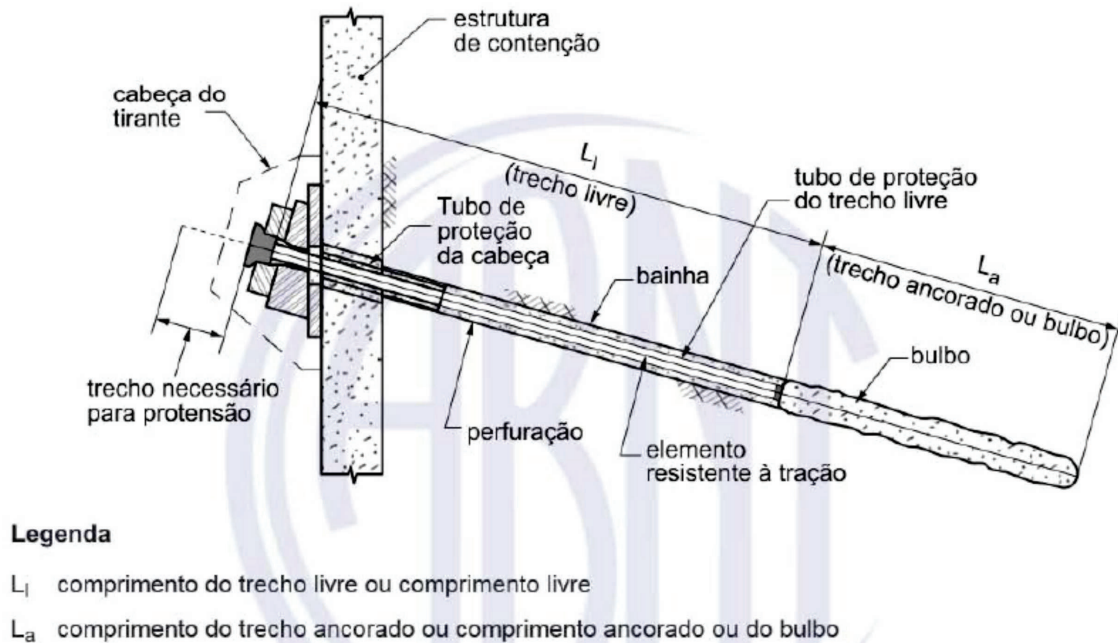


Figura 1. Elementos básicos do tirante. Fonte: ABNT NBR 5629:2018 – Tirantes Ancorados no Terreno – Projeto e Execução

As cargas de trabalho dos tirantes variam muito, sendo esta variação de acordo com a aplicação do elemento. Para obras urbanas comuns, estas cargas geralmente não ultrapassam 1500 kN (Souza, 2001).

Atualmente no Brasil, os tirantes são executados com o elemento de tração constituído por monobarras de aço de alta resistência com proteção anticorrosiva de fábrica ou por cordoalhas de aço galvanizadas, as quais geralmente são projetadas para trabalhar sob cargas superiores às monobarras.

Como os tirantes permitem a realização de ensaios e testes durante a fase de execução da obra, os conhecimentos teóricos sobre o assunto não foram muito aprofundados até então, a despeito de outras áreas da Engenharia Geotécnica, estando a evolução da técnica muito atrelada ao empirismo dos construtores (Habib, 1989).

Por este motivo, é comum encontrar projetos de tirantes ancorados no terreno a nível básico, uma vez que o projetista ainda depende muito das informações do Acompanhamento Técnico de Obra e do próprio executante para revisar os parâmetros iniciais do projeto.

## 2 OBJETIVO

O objetivo principal do presente trabalho é contribuir para o melhor esclarecimento da influência dos parâmetros do solo na programação das etapas de execução e no desempenho do tirante, a qual ainda não está plenamente consolidada no meio técnico, bem como complementar as informações das normas técnicas pertinentes, contribuindo desta forma para a melhor atuação de projetistas e executores de obras de contenção.

### 3 INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE SOLO

O tipo de solo como influência no comportamento de tirantes ancorados se dá pelas características naturais, como por exemplo resistência ao cisalhamento, ângulo de atrito, deformabilidade, mas também pelo que é definido como grau de injetabilidade, isto é, a intensidade da influência de injeção do aglutinante na melhoria das propriedades naturais do solo, e, conseqüentemente, do desempenho dos tirantes.

Segundo Guimarães Filho (1984), a injeção de calda de cimento em altas pressões na execução de tirantes é imprescindível, pois atua superando a reação do solo, deformando-o, fissurando-o e preenchendo seus vazios. Nesta ação, que pode ser repetida em fases consecutivas, o solo ganha um tratamento que aumenta significativamente sua resistência junto ao trecho injetado.

Souza (2001), tendo como base experiência de obras executadas e trabalhos de alguns pesquisadores, aponta que o efeito benéfico das injeções de calda de cimento sob alta pressão, na execução dos bulbos ancorados dos tirantes, pode ser analisado sob os seguintes aspectos:

- Aumentos consideráveis na densidade do solo, diâmetro médio do bulbo, ângulo de atrito interno do solo adjacente e tensão normal na interface bulbo-solo;
- Melhoria das características de resistência e deformabilidade do solo a partir da penetração de calda de cimento nos vazios e descontinuidades;
- Quando utilizado aditivo expansivo, expansão da calda de cimento, potencializando o aumento da tensão normal na interface bulbo-solo, no caso de solos muito resistentes.

Estes três aspectos se manifestam com intensidades diferentes de acordo com as características do solo, e uma análise destas diferenças permite classificar os solos de acordo com o seu grau de injetabilidade, conforme se discute a seguir. Considerando que a técnica de utilização de aditivo expansivo na calda de cimento não tem sido adotada, nem em obras nem em estudos, o último aspecto mencionado não será abordado.

Para solos arenosos fofos, é de se esperar que a injeção de calda de cimento sob alta pressão au-

mente de maneira significativa o diâmetro médio do bulbo, além do ângulo de atrito interno do solo adjacente. Espera-se também que a tensão normal na interface bulbo-solo aumente apenas de maneira razoável, uma vez que em terrenos arenosos fofos o aumento da tensão confinante ocorre a partir de grande deformação. Por fim, a quantidade grande de vazios tende a diminuir a partir do preenchimento com calda de cimento.

Já em solos arenosos compactos, espera-se que a injeção sob pressão não altere tanto o diâmetro médio do bulbo, por conta da compactidade elevada do material, mas aumente significativamente a tensão normal na interface bulbo-solo e o ângulo de atrito interno do solo adjacente a partir do preenchimento dos vazios criados pela injeção de calda.

Em argilas moles, é de se esperar um aumento do diâmetro médio do bulbo e da coesão do solo adjacente, mas a tensão normal na interface bulbo-solo não terá aumentos significativos.

Em argilas de alta consistência, o aumento do diâmetro médio do bulbo tende a ser pequeno, mas o aumento da tensão normal na interface bulbo-solo tende a ser significativo. O ângulo de atrito interno, que inicialmente já é baixo, tende a não ter alteração apreciável.

Intuitivamente, para solos siltosos, de características intermediárias entre areias e argilas, a ação da calda de cimento tem magnitude também intermediária entre as observadas acima.

Portanto, conforme supracitado, é adequado inferir que a estrutura dos tipos de solos é o principal fator para a determinação do grau de injetabilidade do mesmo. Como a estrutura detalhada dos solos é missão complexa devido às diversas dificuldades encontradas na Engenharia de Solos – determinação de índice de vazios, tamanho e forma de ocorrência dos vazios, determinação do tamanho, forma e aglutinação dos grãos, homogeneidade, índices de resistência e deformabilidade – muito por conta das informações superficiais retiradas das investigações geotécnicas, é recomendável utilizar dados relativos à granulometria do solo, combinados à sua compactidade para definir de maneira qualitativa o grau de injetabilidade de cada grupo de solo, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Grau de injetabilidade dos vários grupos de solo.

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
Silte	Fofa	Alto	Baixo	Médio	Médio
Silte	Compacto	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Argila	Mole e média	Alto	Baixo	Médio	Médio
Argila	Rija e dura	Baixo	Alto	Baixo	Baixo

Fonte: Souza (2001)

A tabela 1 exposta acima mostra que, para um tirante executado em areia fofa, por exemplo, a injeção em alta pressão de calda de cimento tem a probabilidade grande de melhorar de forma considerável as características de resistência natural do solo, possibilitando para este caso, ser dimensionado um bulbo - trecho ancorado - de menor comprimento, e conseqüentemente aplicar menos recursos na injeção. De forma contrária, para um tirante executado em argila dura, a injeção em alta pressão de calda de cimento, não tende a melhorar de maneira tão considerável as características de resistência naturais do solo, levando a um dimensionamento de bulbos com maiores comprimentos.

Analisando o solo local como meio resistente às cargas transferidas pelo trecho ancorado, é verificado, conforme exposto acima, que determinadas características naturais do solo tem a capacidade de influenciar de maneira significativa no comportamento do tirante. A consistência ou compacidade dos solos tem influência significativa na capacidade de carga e na rigidez do tirante. Pode-se dizer que a capacidade de carga deste elemento será maior quanto mais compacto ou consistente for o material, não considerando o efeito da perfuração e injeção. Em próximo trabalho será visto que a técnica de perfuração em conjunto com a injeção de calda de cimento combinados com o tipo de solo, pode determinar o comportamento do tirante.

Analogamente ao já exposto, é de se esperar que a magnitude do deslocamento relativo do

trecho ancorado-solo também é influenciada pelo solo vizinho, levando em consideração sua rigidez, esperando-se que em solos mais compactos ou resistentes, este trecho necessite de um menor deslocamento relativo para mobilizar a resistência do tirante.

Já a variação da tensão tangencial mobilizada no sistema trecho ancorado-solo, em função do deslocamento do bulbo, após atingir o valor limite, tem chamado a atenção de pesquisadores. Tal variação está diretamente associada ao estado de tensões e nem tanto com o tipo de solo que é solicitado.

#### 4 CONCLUSÕES

Em relação aos dados de entrada e elaboração do projeto desses elementos, verifica-se que a resistência média representativa e a granulometria do maciço são as informações mais relevantes, pois determinam o comprimento ancorado de projeto e o plano de injeção a ser recomendado para a obra.

Em solos arenosos verifica-se que, além da técnica de perfuração, que pode influenciar na capacidade de carga do tirante, alterando as características naturais do solo local devido à circulação de água e ausência de revestimento, por exemplo, o tipo de mistura injetada e o procedimento de injeção são muito importantes. Como o material tem alto grau de injetabilidade, a utilização da mistura apropriada, que deve ser pouco viscosa, mas coesa, e de um procedimento de injeção que con-

temple fases sucessivas com pressões crescentes, tende a resultar em bom desempenho do tirante.

Em solos argilosos, em linhas gerais, verifica-se que o diâmetro perfurado tem grande influência na capacidade de carga do tirante, uma vez que o grau de injetabilidade destes tipos de solo é pequeno, o que não permite um aumento considerável do diâmetro médio do bulbo, delegando à perfuração a necessidade de um furo com o diâmetro tanto maior quanto possível.

Finalmente, levando-se em consideração o estudo dos parâmetros, nota-se a importância de uma análise criteriosa deste parâmetro na fase de elaboração dos projetos de tirantes ancorados no terreno, mas não se limitando somente às informações pertinentes às injeções, como também perfuração, montagem e instalação, além de um controle minucioso para que o trecho livre tenha o contato com o aglutinante preservado.

## 5 SUGESTÕES

Como sugestão para pesquisas futuras propõe-se uma coleta mais abrangente de dados de obra, que possibilitem comparar resultados de ensaios de tirantes associados a dados bem aferidos de obra, de maneira a detalhar e, eventualmente, quantificar as respectivas influências no comportamento carga-deslocamento do tirante.

Aos executantes e projetistas, que procurem utilizar as referências bibliográficas para além da norma técnica referida, para desta forma, aprimorar cada vez mais as técnicas de projeto e execução de tirantes ancorados.

Aos graduandos, que possivelmente terão contato com este artigo, que busquem desenvolver pesquisas no âmbito da academia para consolidar os parâmetros executivos e de projeto.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBT 5629:2018 - Tirantes Ancorados no Terreno - Projeto e Execução.

GUIMARÃES FILHO, J.D. (1984). "Consolidação de solos por injeções: discussão sobre uma prática bem-sucedida, mas que não está de acordo com as teorias clássicas existentes". Revista Solos e Rochas, ABMS, v.7, pp. 99-107

HABIB, P. (1989). "Recommendations for the design, calculation, construction and monitoring of ground anchorages". A.A. Balkema, Rotterdam;

SOUZA, R.N. (2001). "Ancoragens reinjetáveis e pretendidas em solo: previsão do comportamento e controle de execução. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Estruturas e Fundações, São Paulo.