



FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE
ENGENHARIA CIVIL

MARLON MAIA DOS SANTOS

**ANÁLISE COMPARATIVA DE EXECUÇÃO DE TIRANTES ATIVOS E
PASSIVOS E VERIFICAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA EM UM
DIMENSIONAMENTO HIPOTÉTICO**

Conselheiro Lafaiete
2020

MARLON MAIA DOS SANTOS

**ANÁLISE COMPARATIVA DE EXECUÇÃO DE TIRANTES ATIVOS E
PASSIVOS E VERIFICAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA EM UM
DIMENSIONAMENTO HIPOTÉTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Miguel Angelo Araújo Lima.

**Conselheiro Lafaiete
2020**

MARLON MAIA DOS SANTOS

**ANÁLISE COMPARATIVA DE EXECUÇÃO DE TIRANTES ATIVOS E
PASSIVOS E VERIFICAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA EM UM
DIMENSIONAMENTO HIPOTÉTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Presidente Antônio Carlos de
Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em 25 /11/ 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Miguel Angelo Araújo Lima – Orientador – FUPAC

Prof. Dr. André Luciano de Carvalho – Avaliador – FUPAC

Prof. Ademir Cândido – Avaliador – FUPAC

**Conselheiro Lafaiete
2020**

Dedicatória: Primeiramente dedico este trabalho a Deus que me concedeu a honra de chegar a este momento tão importante de minha vida, a realização de um sonho que é se formar engenheiro e a meus pais que sempre me apoiaram e estiveram do meu lado, eles fizeram isso tudo acontecer, se estou aqui agradeço a eles. Dedico também a todos os meus amigos que torceram por mim, e em especial a minha namorada Pricila, que desde o início desta jornada sempre esteve ao meu lado, me sustentando em momentos difíceis tanto na vida acadêmica quanto pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo de maravilhoso que tens feito por mim durante a vida acadêmica e pessoal, me abençoando sempre e protegendo contra os males presentes no mundo. A meus pais que foram os percussores disso tudo, desde a minha iniciativa da escolha do curso, com apoio emocional, financeiro etc. Agradeço também a todos os meus amigos que torceram por mim, e em especial a minha namorada Pricila, que desde o início desta jornada sempre esteve ao meu lado, me sustentando em momentos difíceis tanto na vida acadêmica quanto pessoal.

Agradeço também aos meus queridos professores, que desde o início da graduação sempre mantiveram empenhados para com o ensino de seus alunos e grandemente feliz por estar adquirindo esta conquista. Ao orientador deste trabalho o professor MSc. Miguel Angelo Araújo Lima, por ter aceitado meu convite para orientação. A coordenadora do curso de Engenharia Civil Tatiana por todo empenho em ajudar nessa jornada.

“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou, mas sim pelas dificuldades que superou no caminho” - (*Abraham Lincoln*)

RESUMO

Com a evolução da globalização, houve uma alta demanda de estudos para compreenderem o melhor aproveitamento dos espaços disponíveis sendo eles para as antigas e novas construções, em viadutos, pontes ou na criação de estradas, entre outras alternativas de desenvolvimento. Este tipo de obra onde estão envolvidas grandes movimentações de solo, muitas vezes utilizam métodos de contenção que envolvem a aplicação de ancoragens. O tipo de ancoragem mais comum é com o uso de tirantes. Este trabalho demonstra execução de tirantes em estruturas de contenção, mostrando o lado técnico com a produção em campo, em que ambos caminham juntos para o sucesso das obras. O objetivo do trabalho é mostrar de maneira descritiva como é feita a execução dos tirantes, desde as etapas iniciais como, perfuração no terreno, montagem, instalação, injeção dos aglutinantes, e analisar de forma comparativa o funcionamento dos tirantes ativos e passivos. Demonstrar um dimensionamento de uma situação hipotética escolhida de um trecho de uma cortina atirantada fictícia com uso de tirantes ativos para verificação se o coeficiente de segurança foi aplicado corretamente conforme a norma regente. Os resultados obtidos após análises constataram que ambos tirantes são viáveis para estabilização de maciços, mesmo sendo classificados como diferentes em sua execução. O coeficiente de segurança encontrado no dimensionamento apresentou intervalo correspondente ao parâmetro da norma da estabilidade da contenção, onde teve um aumento insignificante do fator de segurança aplicado aos tirantes. No Brasil a norma que regulamenta todo o trabalho, é a NBR 5629/2006 com última atualização em 2018 - execução de tirantes ancorados no terreno.

Palavras-chave: NBR 5629/2006, revisada em 2018; Tirantes; Ativos; Passivos; Ancoragens.

ABSTRACT

With the evolution of globalization, there was a high demand for studies to understand how to use the available spaces, being new buildings, viaducts, bridges or in the creation of roads, and others alternatives. This kind of constructions where soil movements are involved, they often use containment methods that involve the application of anchors. The most common type of anchoring is the use of risers. This term paper demonstrates the execution of risers in containment structures, showing the technical side with production in the field, in which both walk together for the success of the constructions. The objective is to show in a descriptive way how the execution of the risers is carried out, from the initial stages such as drilling in the ground, assembly, installation, injection of binders, and comparatively analyze the functioning of the active and passive risers. Demonstrate a sizing of a hypothetical situation chosen from a stretch of an imaginary curtain with the use of active risers to verify if the safety coefficient was applied correctly according to the regent standard. The results obtained found that both risers are viable for stabilization of massifs, even though classified different as in their execution. The safety coefficient found in the sizing presents an interval that corresponds to the parameter of the standard where had an insignificant increase in the factor applied to risers. In Brazil the standard that regulates all work is NBR 5629/2006 updated in 2018 - execution of risers anchored interrain.

Keywords: NBR 5629/2006, revised in 2018; Risers; Active; Passives; Anchors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Figuras

Figura 1 - Configuração- Solo Grampeado	17
Figura 2 - Configuração do tirante no local	17
Figura 3 - Tirante Maciço.....	18
Figura 4 - Tirante de Fio/Cordoalha	18
Figura 5 - Solo Grampeado e Cortina Atirantada	19
Figura 6 - Cortina Atirantada	20
Figura 7 - Metodologia de Execução	20
Figura 8 - Jet Grouting	21
Figura 9 - Cabeça Metálica de tirantes de fio/monobarra	24
Figura 10 - Tirante de fio/cordoalhas.....	25
Figura 11 - Tirante Monobarra	25
Figura 12 - Modelo esquemático de injeções múltiplas.....	30
Figura 13 - Modelo esquemático de injeção	31
Figura 14 - Modelo esquemático de ensaio arrancamento.....	39
Figura 15 - Cortina atirantada protendida em concreto armado	47
Figura 16 - Boletim de injeção e protensão.....	48

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Diagrama de ensaio de qualificação recomendado pela NBR 5629/2018	33
Gráfico 2 - Cargas x Deslocamentos Totais	34
Gráfico 3 - Gráfico do ensaio de recebimento tipo A.....	35
Gráfico 4 - Gráfico do ensaio de recebimento tipo B	36
Gráfico 5 - Gráfico de ensaio de recebimento tipo C	36
Gráfico 6 - Gráfico de ensaio de recebimento tipo D	36
Gráfico 7 - Gráfico de ensaio de fluência (tempo x deslocamento)	37
Gráfico 8 - Ensaio de fluência	38
Gráfico 9 - Análise das solicitações nas contenções.....	44
Gráfico 10 - Ábacos para dimensionamento	44

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Informações sobre tirantes	27
Tabela 2 - Especificações técnicas do tirante monobarra de acordo com o fabricante Dywidag	28
Tabela 3 - Especificações técnicas do tirante monobarra de acordo com o fabricante CPB – Concreto Projetado do Brasil	28
Tabela 4 - Especificações técnicas do tirante Monobarra de acordo com o fabricante INCOTEP	29
Tabela 5 - Carregamentos para ensaio de qualificação.....	33
Tabela 6 - Carregamentos para ensaio de recebimento.....	34
Tabela 7 - Tabela de estimativas de valores ao arrancamento	40
Tabela 8 - Coeficientes para dimensionamento.....	42
Tabela 9 - Tabela de valores de resistência de aderência “qs”	43
Tabela 10 - Informações sobre o trecho da cortina.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FUPAC	Faculdade Presidente Antônio Carlos
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
RA	Relaxação Alta
RB	Relaxação Baixa

LISTA DE SÍMBOLOS

\emptyset = Diâmetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Estruturas de Contenção.....	16
2.2 Tipos de Contensões.....	16
2.2.1 Solo Grampeado.....	16
2.2.2 Cortina Atirantada.....	18
2.2.3 Parede Diafragma.....	20
2.2.4 Jet Grouting.....	21
2.2.5 Cortina de Estações	21
2.2.6 Cortina de Microestacas e Estacas Raiz	22
2.2.7 Cortinas de Estacas Hélice Contínua	22
2.2.8 Cortinas de Estacas Prancha	22
2.3 Perfuração	22
2.3.1 Equipamentos para perfuração.....	23
2.3.2 Perfuratriz pneumática.....	23
2.3.3 Perfuratriz hidráulica.....	23
2.3.4 Demais equipamentos e materiais	23
2.4 Tirantes.....	24
2.4.1 Funcionamento dos tirantes	24
2.4.2 Cabeça	24
2.4.3 Trecho ancorado ou injetado.....	25
2.4.4 Trecho livre ou (trecho não injetado).....	25
2.5 Componentes de um tirante	25
2.6 Classificação 1	26
2.7 Classificação 2	26
2.8 Definições quanto à constituição.....	27
2.9 Fases de injeção	29
2.9.1 Fase Única	29
2.9.2 Fases Múltiplas	30

2.10 Etapas e equipamentos para injeção	30
2.11 Considerações para Tirantes Ativos	31
2.11.1 Trecho livre	31
2.11.2 Trecho ancorado	31
2.11.3 Calda	32
2.11.4 Protensão de ancoragem	32
2.11.5 Carga de trabalho	32
2.11.6 Carga de Incorporação	32
2.12 Ensaios	32
2.12.1 Ensaios de Recebimento	34
2.12.2 O ensaio de fluência deve ser interpretado de acordo com os gráficos (tempo) x (deslocamento)	37
2.13 Definições para Tirantes Passivos.....	38
2.13.1 Ensaio de arrancamento	38
2.14 Dimensionamento de Tirantes Ativos.....	40
2.14.1 Dimensionamento da seção do aço	40
2.14.2 Comprimento do Bulbo de ancoragem.....	41
2.14.3 Dimensionamento do trecho livre	41
2.14.4 Dimensionamento do trecho ancorado	41
2.15 Dimensionamento de Solo Grampeado - Utilização de Tirantes Passivos.....	42
4 ANÁLISE E RESULTADOS.....	46
4.1 Preliminares para protensão dos tirantes ativos	46
4.2 Mão de obra especializada para execução de tirantes ativos e passivos.....	47
4.3 Exemplo de Dimensionamento- Estudo de Caso de Uma Situação Hipotética- Método dos Tirantes Ativos.....	49
5 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da globalização, houve uma alta demanda de estudos para compreenderem o melhor aproveitamento dos espaços disponíveis, onde a utilização dos subsolos das construções ou tratamento de obras existentes aparece como importante alternativa. Também a execução de obras de metrô, viadutos, pontes e estradas são exemplos desse contexto. Esses tipos de obras, que envolvem consideráveis movimentações de solo na forma de cortes ou aterros, frequentemente necessitam do uso de estruturas de contenção, que têm como objetivo suportar os empuxos provocados pela massa de solo e por eventuais sobrecargas. (SILVA, 2015).

A Geotecnia atua em todo segmento voltado para tratamento de solos e encostas, no sentido de contenção de materiais soltos com uso de tirantes para elevadas cargas solicitadas a grandes empuxos, solo grampeado para baixas cargas de empuxo, injeções de consolidação em maciços rochosos para calafetação de fissuras, execuções de diferentes tipos de estacas e fundações de túneis.

Obras que necessitam de altas movimentações de solos e materiais em geral são necessárias a execução de serviços geotécnicos, e um dos mais usuais é a cortina atirantada. Cortinas são estruturas planas, geralmente verticais, que tem parte de seu comprimento embutido no solo. (SILVA, 2015). A cortina atirantada é basicamente uma contenção que necessita de ancoragem, para que a ela não se movimente por uma força denominada de empuxo. É necessária a utilização de elementos de protensão a elevadas cargas, pois não trabalha da mesma forma de um muro de gravidade por exemplo. A cortina atirantada possui aplicação semelhante à do solo grampeado, porém as duas técnicas são bem diferentes no que diz respeito ao funcionamento. Consiste em uma “cortina” de contenção pressionada por tirantes contra as encostas. Elas são confeccionadas mediante a tirantes ativos com cargas permanentes.

Tirante é uma peça composta por um ou mais elementos resistentes a tração, montada segundo especificações do projeto. Estes elementos são introduzidos no terreno em perfurações previamente executadas. Logo após é feita injeção de calda de cimento ou de outro aglutinante na parte inferior destes elementos, formando o bulbo de ancoragem, que é ligado à parede estrutural, pelo trecho não injetado ou (trecho livre) do elemento resistente à tração e pela cabeça do tirante. (PITTA, SOUZA e ZIRLIS, 2013).

A execução de tirantes é feita seguindo todo um método: o acompanhamento das normas técnicas e manuais elaborados de acordo com as especificações. O emprego dos

tirantes se dá de acordo com o projetista, onde o mesmo avalia inúmeros fatores que determinam o tipo do elemento sendo ele monobarra, cordoalha ou tirante de fio liso, (tirantes mais comuns). Através da prospecção do solo é possível saber com qual material estará trabalhando, onde o projetista faz a locação dos furos, distância entre eles, profundidade, e quantidade de carga. Em campo a produção seguindo as normas de execução, é necessário submeter a ensaios de qualificação, recebimento e fluência, para tirantes protendidos, (ativos), já para tirantes passivos aplica-se o ensaio de arrancamento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é realizar um comparativo sistêmico entre as duas classificações de tirantes ativos e passivos, levando em consideração seu funcionamento, trabalhabilidade e escolha de qual modelo mais viável para execução de tal contenção.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Conceituar as etapas e processos da execução de tirantes;
- Estabelecer materiais e equipamentos para realizar a execução;
- Descrever locais de aplicação e necessidade da escolha do tipo;
- Apontar modelos presentes em mercado;
- Analisar o funcionamento levando em consideração sua eficiência, trabalhabilidade e resistência em ancoragem; e
- Mostrar um dimensionamento de tirantes para um trecho de uma cortina atirantada hipotética, onde ela foi dimensionada em um projeto fictício. Fazer os cálculos necessários para verificação do valor e se o coeficiente de segurança foi aplicado segundo a norma.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão especificados alguns pontos importantes para o entendimento do assunto de forma geral. Alguns tópicos referentes a aplicação de contenções entre as principais utilizadas para os métodos de tirantes ativos e passivos, bem como outros métodos que não os utilizam, porém se enquadram também dentre os tipos de contenções e serão comentadas durante o texto a título de conhecimento e como forma de citação afim de complementar o conteúdo do trabalho.

2.1 Estruturas de Contenção

São estruturas projetadas para resistir a empuxos de terra e/ou água, cargas estruturais e quaisquer outros esforços induzidos por estruturas vizinhas ou equipamentos adjacentes. (JOPPERT JÚNIOR, 2007). São construídas para promover a estabilidade contra ruptura das encostas e evitar o “escorregamento” dos materiais, causados tanto por fatores naturais ou por obras existentes que necessitam de ampliações/alterações.

2.2 Tipos de Contenções

2.2.1 Solo Grampeado

Solo Grampeado é uma técnica de melhoria de solos, que permite a contenção de taludes por meio da execução de chumbadores, concreto projetado e drenagem. Os chumbadores ou grampos promovem a estabilização geral do maciço, o concreto projetado dá estabilidade local junto ao parâmetro e a drenagem age em função do escoamento das águas internas ao maciço, para alívio de carga dos taludes.

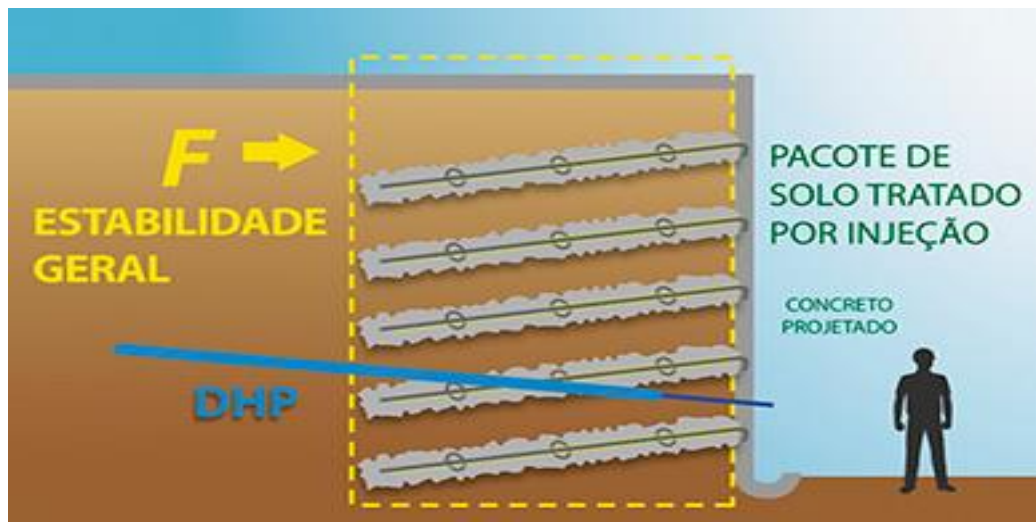
O solo grampeado tem início com a execução de chumbadores verticais (geralmente barras aço com bitolas de 20 mm e 25 mm), como medida de melhoria do solo e pré-contenção. Segue de acordo com o projeto, onde as perfurações são devidamente executadas com ângulo especificado em relação à inclinação do talude com o corte descendente do solo na geometria do projeto, excetuando-se os casos de taludes pré-existentes. O ângulo de inclinação do furo deve ser de 5° a 20°. Continua com a execução dos chumbadores e aplicação do revestimento de concreto projetado, podendo ser via úmida ou via seca e que pode ser entendido pelas figuras 1 e 2.

Concreto projetado entende-se pela projeção de concreto pela bomba e pelo sopro do ar comprimido do compressor. É utilizado em concretagens de túneis, paredes de contenção, recuperação e reforço de estruturas. Este encontra-se em dois métodos:

Concreto projetado Via Úmida: De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) trata-se do processo no qual todos os componentes, incluindo-se a água, são misturados em usina dosadora de concreto antes de serem introduzidos no equipamento de projeção.

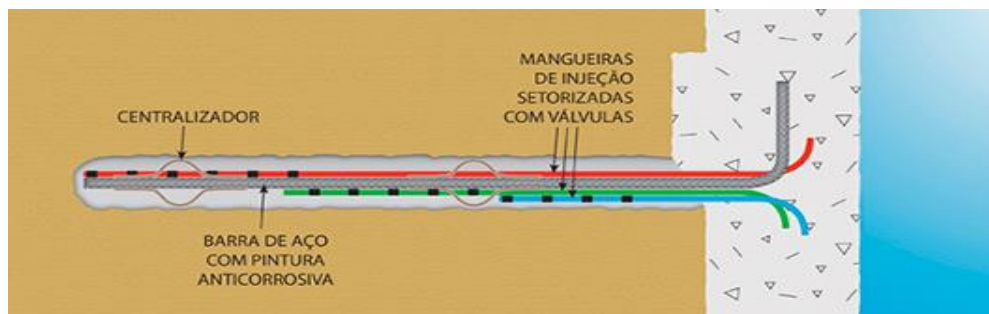
Concreto projetado Via Seca: trata-se do processo no qual os agregados apresentam-se ligeiramente úmidos, com a maior parte da água sendo adicionada no mangote ou no bico de projeção. (DNIT, 2020).

Figura 1 - Configuração- Solo Grampeado



Fonte: Solotrat (2020)

Figura 2 - Configuração do tirante no local



Fonte: Solotrat (2020)

2.2.2 Cortina Atirantada

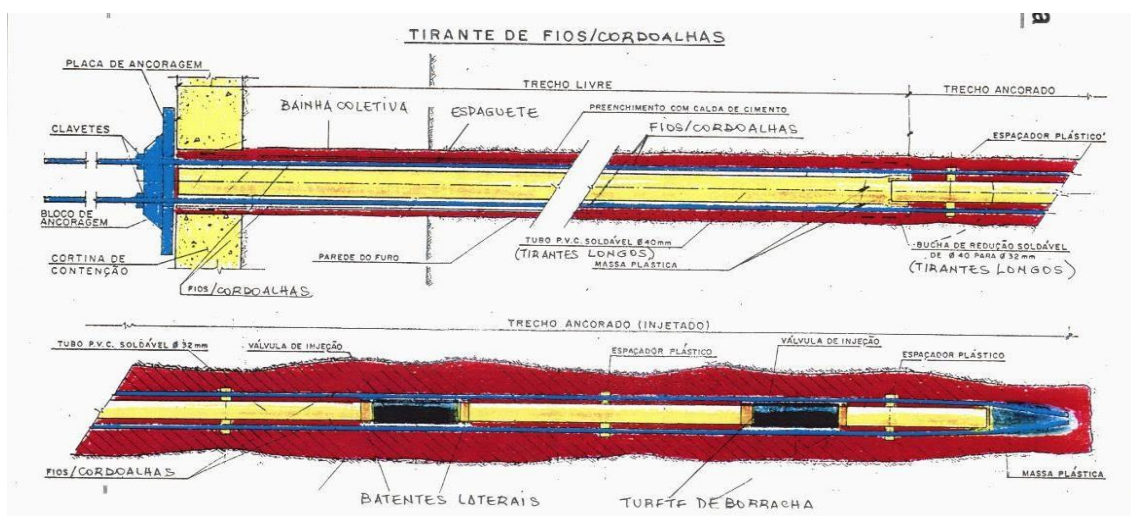
Tirante é uma peça composta por um ou mais elementos resistentes à tração, montada segundo especificações do projeto. Estes elementos são introduzidos no terreno em perfuração previamente executada por equipamentos rotativos capazes de perfurar até a profundidade de projeto. Logo após é feita injeção de calda de cimento ou de outro aglutinante na parte inferior destes elementos, formando o bulbo de ancoragem, que é ligado à parede estrutural, pelo trecho não injetado (ou trecho livre) do elemento resistente à tração e pela cabeça do tirante. (SOLOTRAT, 2020). As figuras 3 e 4 detalham as informações.

Figura 3 - Tirante Maciço



Fonte: Solotrat (2020)

Figura 4 - Tirante de Fio/Cordoalha



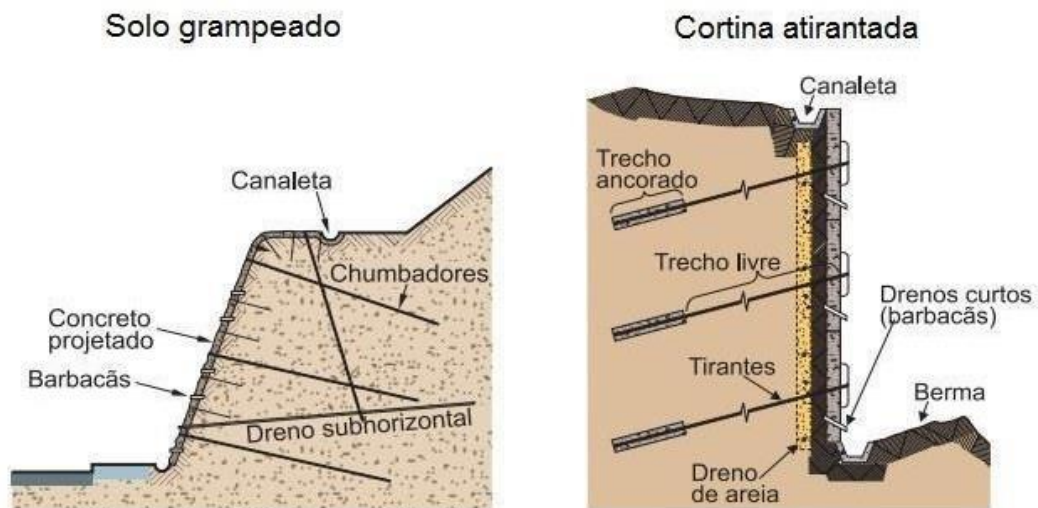
Fonte: Naresi (2020)

A cortina atirantada é composta de um muro de concreto e de tirantes protendidos. Deve ser escolhida entre as técnicas de melhoria de solos e contenções que mais se adaptam

ao problema apresentado e que permite a contenção de taludes naturais e de corte, por meio da execução de tirantes e drenagem. A técnica de execução de cortinas atirantadas consiste principalmente em executar perfurações no solo para instalação de barras de aço, ou cordoalhas (tirantes de fios de aço), dotados de mangueiras e tubos especiais de injeção. As injeções de calda de cimento sob pressão vêm em seguida, e são feitas de forma setorizada, melhorando as condições geológicas do terreno. O terreno que você quer conter será modificado para melhor com qualquer um destes processos de contenção.

Os processos de execução são regulamentados de acordo com as normas técnicas. Ao realizar uma contenção com cortinas atirantadas, todas as etapas serão devidamente supervisionadas e apresentadas em boletins, para sua completa ciência, além de ser uma execução dentro dos mais rigorosos padrões de segurança do trabalho, qualquer que seja a contenção escolhida. (SOLOTRAT, 2020). A figura 5 explica como funciona o processo.

Figura 5 – Solo Grampeado e Cortina Atirantada



Fonte: Talus Engenharia (2020)

Os serviços de geotecnia geralmente são descritos por dependerem do comportamento dos solos/e ou rochas, pois eles constituem em reformar os espaços, ou ampliar de maneira a obter movimentação desses materiais na crosta terrestre. A execução do solo grampeado/ cortina atirantada basicamente a ideia dos dois tipos de serviços são utilizadas para estabilização de maciços, com a finalidade de evitar o comportamento indevido de materiais. Porém para a obra de cortina atirantada a contenção do solo é feita mediante a protensão do tirante (feita pelo macaco hidráulico), para “travamento” da parede diafragma, fazendo com que exista a contenção do material, tendo uma configuração final como mostra a figura 6.

Figura 6 – Cortina Atirantada

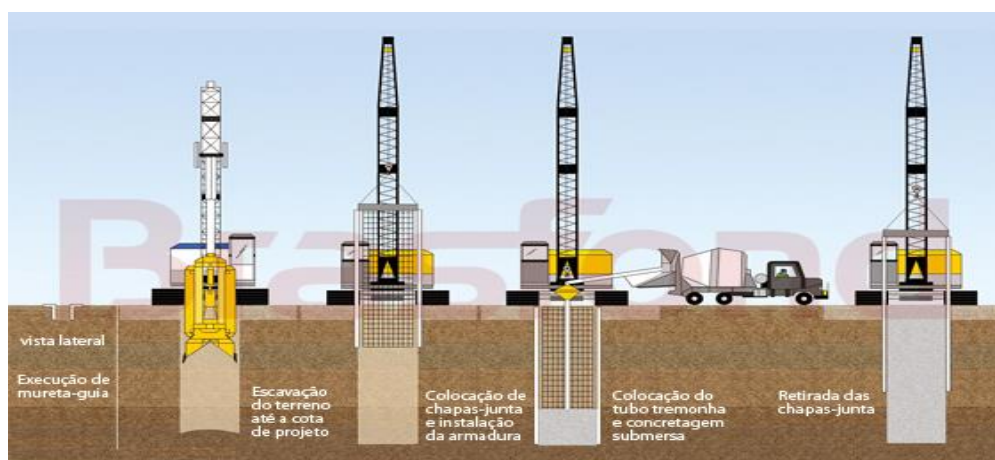


Fonte: Solotrat (2020)

2.2.3 Parede Diafragma

De acordo com a Universidade Trisul, parede diafragma se configura como uma parede de concreto moldada “in loco”, podendo alcançar elevadas profundidades e espessuras. Estruturalmente absorvem carregamentos verticais, empuxos horizontais e momentos fletores. Utilizadas para o acesso a cotas profundas para ganho de espaço como obras de metrô, garagens de edificações, shoppings centers e com a finalidade de interceptar o nível d’água (NA). O método de execução pode ser compreendido conforme a figura 7.

Figura 7 - Metodologia de Execução



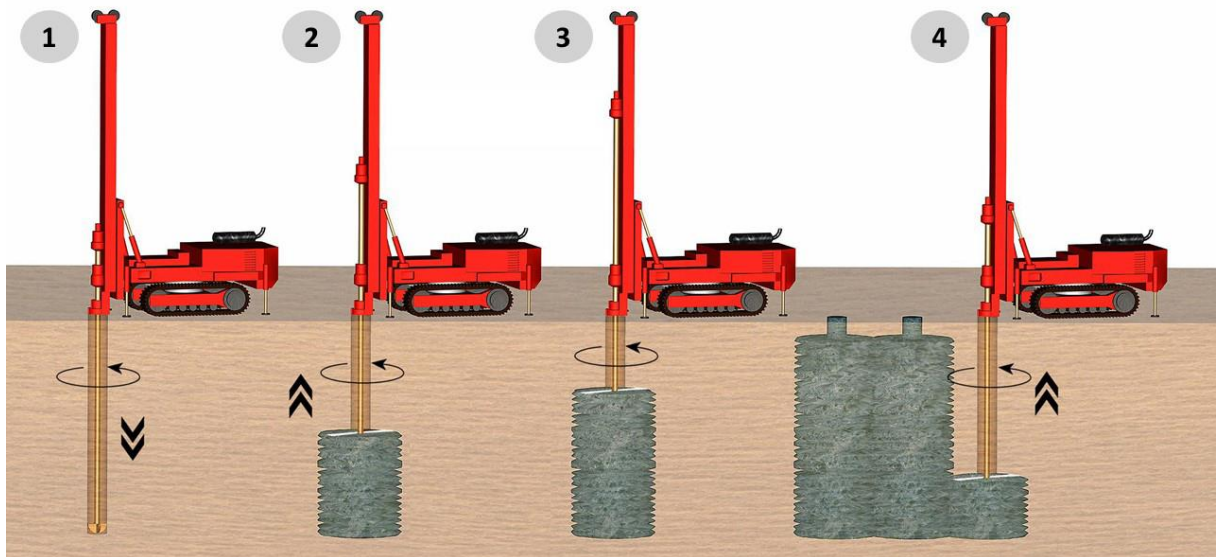
Fonte: Brasfond Fundações Especiais (2020)

2.2.4 Jet Grouting

O conceito básico deste método é o uso da força de impacto do jato hidráulico no solo com o intuito de estabilizar o maciço, calafetando todos os vazios com a injeção da calda de cimento ou (nata de cimento) transformando-o em material estável com resistência a compressão a elevadas cargas.

De acordo com LAN (NARESI, 2020), especialista em fundações pesadas e geotecnia e diretor da PROGEO, diz ser um método que serve para melhorar as propriedades mecânicas do solo especialmente na área de tratamento de maciços, onde o risco de desmoronamento é alto, pois o material a ser consolidado é um material mole/saturado. Técnica de impermeabilização de camadas de túneis, ombreiras de barragens e reforço estrutural de edificações existentes. Pressão da injeção de consolidação gira em torno de 350 kg/cm². A figura 8 exemplifica a metodologia executiva do JG.

Figura 8 – Jet Grouting



Fonte: Brasfond Fundações Especiais (2020)

2.2.5 Cortina de Estacões

São cortinas de estacas escavadas de grande diâmetro, muito adotadas como solução para contenção de solos formados por argilas médias a rijas ou solos acima do nível de água. Este tipo de contenção não produz vibrações no terreno durante a execução, e nas situações onde o solo apresenta certa coesão, o elevado consumo de concreto e aço por m² de contenção

pode ser diminuído com o aumento do espaçamento entre as estacas (SAES, STUCCHI e MILITITSKY, 1998).

2.2.6 Cortina de Microestacas e Estacas Raiz

São perfis moldados “*in loco*” com a finalidade de servirem como fundações profundas capazes absorver altas cargas. São normalmente utilizadas em terrenos de elevada compactidade, ou consistência, ou que demonstrem a presença de rochas sãs, ou alteração de rocha, nos quais a escavação somente pode ser processada através do uso de perfuratrizes rotativas, ou roto-percussivas, com a implantação de revestimentos metálicos em segmentos rosqueados estanques. Podem também ser executadas inclinadas. (BRASIL, 2006).

2.2.7 Cortinas de Estacas Hélice Contínua

É uma estaca de concreto moldada “*in loco*” executado por meio de uma hélice, também chamado de trado helicoidal que é rotacionado por uma perfuratriz com a finalidade de se obter a profundidade de projeto. No ato da abertura do furo à medida que o trado é rotacionado, todo o material é levado para a superfície deixando o fuste do furo livre e limpo para receber a concretagem simultânea à perfuração. Todo o torque direcionado é apropriado para romper a resistência do solo, onde o mesmo atravessa várias camadas de solo e matacões. Apresenta maior velocidade à execução da contenção. A armadura é em forma de gaiolas e é sempre inserida após a concretagem. (SOLOTRAT, 2020).

2.2.8 Cortinas de Estacas Prancha

Estacas pranchas são perfis de madeira, concreto armado, concreto protendido ou metálicas, que se cravam ao terreno, formando por justaposição as cortinas, destinadas a servir como contenções de água, de terra ou ambos fazendo com que se consiga ancoragem vertical. (UFSC, 2020). Construídas para acesso às cotas inferiores, acesso ao subsolo para utilização do espaço para novas edificações, como fundações profundas de pontes e viadutos.

2.3 Perfuração

De acordo com a NBR-5629/2018, pode utilizar qualquer sistema de perfuração, porém tudo deve ser seguido por um projeto executivo.

2.3.1 Equipamentos para perfuração

Para o início da perfuração, tanto para a execução de tirantes ou outros serviços geotécnicos que envolvam furos, um dos principais equipamentos disponíveis são as perfuratrizes pneumáticas e hidráulicas.

2.3.2 Perfuratriz pneumática

Movida por ar comprimido. Geralmente utilizam-se compressores de alta potência (750/900/1200 PCMs) para não ter perda de eficiência na hora do manuseio.

A perfuratriz pneumática é indicada para perfurações em altas e baixas profundidades, porém com o diâmetro reduzido, pois o alívio e limpeza do furo na hora da perfuração são feitos pelo sopro do ar/água. Muito utilizada para a execução dos furos de solo grampeado, injeções de consolidação, cortinas atirantadas, rochas para detonação, atirantamento de matacões soltos, concretos, e para drenos barbacãs (alívio de pressão de taludes e drenagem) e DHP's (Drenos Horizontais Profundos).

2.3.3 Perfuratriz hidráulica

Semelhante à perfuratriz pneumática, porém é movida pelo sistema hidráulico onde o alívio e limpeza do furo também são feitos por água e ar, e é mais utilizada para a execução de furos com maiores diâmetros, e para acesso a cotas profundas. Equipamento responsável pela execução de estacas, estacas raiz e estacas hélice contínua.

2.3.4 Demais equipamentos e materiais

- Bomba d'água ou de lama: utilizada nos casos em que o fluido de perfuração é líquido (água ou lama).
- Hastes e revestimentos, cabeças de perfuração e ferramentas de corte: compatíveis com o material a ser perfurado.
- Transferidor de pêndulo e esquadros de madeira.

2.4 Tirantes

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tirantes são definidos no item 3.1 da NBR 5629/2018 como: “dispositivo capaz de transmitir esforços ativos de tração distribuídos a uma região estável do terreno, sendo constituído de cabeça, trecho livre e trecho ancorado ou bulbo.”. (ABNT, 2018).

2.4.1 Funcionamento dos tirantes

Tirante basicamente consiste em um elemento inserido ao furo no solo/rocha com o intuito de “travamento” onde o mesmo resiste a uma força aplicada em sentido contrário a contenção denominada de empuxo. Esforço criado pela carga de material atrás do muro de contenção, por exemplo, ou por um simples arrimo de concreto projetado.

A ancoragem é feita pelo trecho ancorado e a transmissão da carga até a cabeça ocorre pelo trecho livre. As principais partes de um tirante podem ser compreendidas de acordo com as figuras 9, 10 e 11.

2.4.2 Cabeça

É a extremidade que fica fora do terreno, sendo a parte que suporta a estrutura que, por sua vez, contém a massa a ser estabilizada;

Figura 9 - Cabeça Metálica de tirantes de fio/monobarra

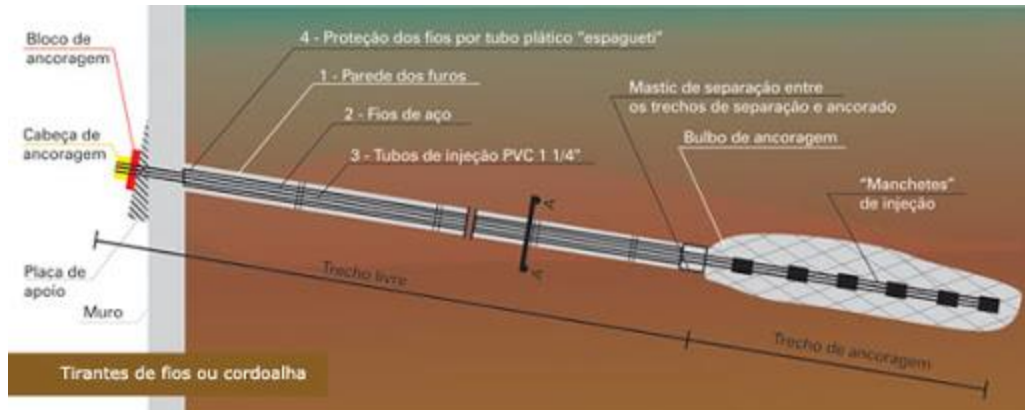


Fonte: Solotrat (2020)

2.4.3 Trecho ancorado ou injetado

É a outra extremidade da ancoragem que transmite ao terreno a carga de tração, sendo constituído pela barra envolvida por calda de cimento injetada;

Figura 10 - Tirante de fio/cordoalhas



Fonte: Fundesp- Fundações Especiais (2020)

2.4.4 Trecho livre ou (trecho não injetado)

É o trecho intermediário entre a cabeça e o trecho enterrado, que transmite as cargas de tração entre a cabeça e o trecho ancorado.

Figura 11 - Tirante Monobarra



Fonte: Solotrat (2020)

2.5 Componentes de um tirante

Elemento que compõe o tirante é instalado com a perfuração em diferentes tipos de materiais, envolvendo uma série de processos que exigem especialidades. A fabricação e montagens destes elementos são de crucial importância para o funcionamento. As técnicas de

perfuração, injeção do aglutinante, protensão são fatores que devem ser monitorados (XANTHAKOS, 1991).

2.6 Classificação 1

Tirante Provisório: De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tirante provisório (item 3.12.1 NBR 5629/2018) é aquele com prazo previsto de utilização inferior a dois anos a partir de sua instalação.

Tirante Permanente: no item 3.12.2 (ABNT NBR 5629/2018) tirante permanente é aquele com prazo previsto para utilização superior a dois anos.

Tirante Reinjetável: no item 3.12.3 (ABNT NBR 5629/2018) é o que permite injeções adicionais após a sua instalação.

Tirante não Injetável: no item 3.12.4 (ABNT NBR 5629/2018) é o que não permite injeções adicionais após a sua instalação.

Tirante Autoperfurante: tirante não reinjetável, item 3.12.5 (ABNT 5629/2018) constituído de elemento monobarra vazado, cuja perfuração é realizada com sua própria barra e acessórios, ficando todos incorporados na perfuração, e injetados simultaneamente com calda de cimento ou outro fluido aglutinante.

2.7 Classificação 2

Tirantes Passivos: Também conhecido como chumbador ou grampo, pois os mesmos não são torqueados pelo “macaco hidráulico”. Os passivos aguardam a solicitação natural, causada por uma força denominada de empuxo que é solicitada quando há a movimentação do maciço em sentido contrário a contenção. (MAXWELL, 2020).

Tirantes Ativos: Aplicam uma força na estrutura de contenção contra o maciço. São protendidos pelo equipamento chamado “macaco bomba hidráulico” que transfere tensões a barra fazendo com que o elemento fique sob carga permanente. Neste caso é necessária a construção de uma parede estrutural de concreto armado, parede diafragma ou parede de concreto projetado onde a placa que apoia a cabeça do tirante é tracionada até atingir o valor da carga de trabalho.

2.8 Definições quanto à constituição

Tirante Monobarra: barra única como elemento principal do tirante, geralmente barras de aço CA-50A (tensão de escoamento 500MPa) carga de trabalho de 100KN a 200KN ou CA-60A (tensão de escoamento 600MPa) com 120KN a 240KN como carga de trabalho. Composto por bitola de Ø 3/4" e 1 1/4".

Tirante de Fio: São normalizados pela NBR-7482 e EB 780/90 devendo dotar de uma área mínima de 50 mm² ou 8 mm de Ø. No mercado encontram-se tirantes de fios de 8 mm e 9 mm, fabricados em aço 150 RN, 160RN, 150 RB e 160RB. (MAXWELL-PUC RIO, 2020).

Tirante de Cordoalha: elemento resistente a tração constituída por cabos de aço normalizados pela NBR-7483 e EB-781/90 e que podem comercialmente ser adquiridas em aço 175RN, 175RB, 190RN e 190RB.

Geralmente são impermeabilizadas com material anticorrosivo evitando sua oxidação pelo contato da água e conseqüentemente aumenta sua durabilidade. As tabelas 1, 2, 3 e 4 trazem informações para compreensão conforme cada fabricante.

Tabela 1 - Informações sobre tirantes


TIRANTES Monobarras Fios Cordoalhas	DEFINITIVOS			PROVISÓRIOS
	Carga de trabalho (KN)	Cargas de Ensaio – (KN)		Carga de Trabalho (KN)
		1,75 x	1,40 x	
MONOBARRA				
ST-85/105 – ø19 mm	120	210	168	140
ST-50/55 – ø 32 mm	200	350	280	240
ST-85/105 – ø 32 mm	350	610	490	410
FIOS CP-150 RB				
4 ø 8 mm	136	238	190	160
5 ø 8 mm	170	300	240	200
6 ø 8 mm	200	350	280	240
8 ø 8 mm	270	470	380	320
10 ø 8 mm	340	600	480	400
12 ø 8 mm	410	720	570	490
CORDOALHAS CP-190 RB				
4 ø 12,7 mm	345	603	483	408
5 ø 12,7 mm	430	750	600	510
6 ø 12,7 mm	510	900	710	610
8 ø 12,7 mm	700	1220	980	840
10 ø 12,7 mm	870	1520	1220	1040
12 ø 12,7 mm	1040	1820	1450	1240

Fonte: Naresi (2020)

Constituição do elemento varia de acordo com o seu fornecedor e seu modelo/tipo.

Tabela 2 - Especificações técnicas do tirante monobarra de acordo com o fabricante Dywidag

Propriedades dos Sistemas DYWIDAG

Ø Nominal	Tensão de Escoamento [Kg/mm ² / MPa]	Tensão de Ruptura [Kg/mm ² / MPa]	Carga de Escoamento [tf]	Carga de Ruptura [tf]	Passo [mm]	Área da Seção Transversal ^{a)} [mm ²]	Peso ^{b)} [Kg/m]
DW 15 mm	90 [900]	110 [1.100]	16	19	10	177	1,41
DW 32 mm	95 [950]	105 [1.050]	76	84	16	804	6,31
DW 36 mm	95 [950]	105 [1.050]	97	107	18	1.018	8,27
DW 40 mm* 	95 [950]	105 [1.050]	119	132	20	1.257	10,21
DW 47 mm	95 [950]	105 [1.050]	165	182	21	1.735	14,10

a) área calculada

b) peso teórico nominal

Módulo de Elasticidade: E = 20.500 Kgf/mm² +/- 5%

*Sob demanda. Prazo de entrega mínimo: 60 dias

Fonte: Protendidos DYWIDAG Brasil (2020)

Tabela 3 - Especificações técnicas do tirante monobarra de acordo com o fabricante CPB – Concreto Projetado do Brasil

Diâmetro Nominal pól	Diâmetro Nominal (mm)	Diâmetro Efetivo (mm)	Carga de Trabalho Definitiva	Carga de Trabalho Provisória	Seção (mm ²)	Peso kg/ml
5/8	15,8	14,3	6,1	7	160,5	1,27
3/4	19	17,3	9	10,5	234,9	1,85
7/8	22,17	20,3	12,5	14,6	323,6	2,55
1	25,35	23,3	16,4	19,1	425,7	3,34
1 1/8	28,5	26,1	20,6	24	533,0	4,22
1 1/4	31,28	29,3	26	30,3	674,0	5,30
1 1/2	38,04	35,3	37,7	44	977,6	7,67
1 5/8	41,1	37,8	45	52,4	1124,0	8,91
1 3/4	44,38	41,1	51,4	60	1325,0	10,40
2	50,17	47	66,8	78	1735,0	13,70
2"1/4	57,15	53	85,1	99,3	2206,2	18,09
2"1/2	63	59	105,5	123	2734,0	21,59
2"3/4	69	65	119	138,833	3316,0	30,05
3"	75,5	72	145	169,167	4071,5	32,10

Fonte: CPB Concreto Projetado do Brasil (2020)

Tabela 4 - Especificações técnicas do tirante Monobarra de acordo com o fabricante INCOTEP

Características Técnicas Sistema Monobarra

Tirante Monobarra	Diâmetro		Área [mm ²]	Massa Linear [kg/m]	Propriedades Mecânicas Mínimas [kgf/mm ²]		Cargas [tf]					
	Nominal D [mm]	Efetivo [mm]			Limite de escoamento	Limite de Ruptura	Cargas Limites		Trabalho conforme norma ABNT NBR 5629:2018			
							Carga de Escoamento	Carga de Ruptura	Ensaio	Permanente	Provisória	Prova de Carga
INCO 22D	30	28,7	648,0	5,0	60,0	72,0	38,9	46,7	35,0	20,0	23,0	29,2
INCO 28D	35	32,6	834,0	6,6	68,0	87,0	56,7	72,6	51,0	29,0	34,0	42,5
INCO 35D	40	38,0	1134,0	9,0	60,0	72,0	68,1	81,7	61,3	35,0	41,0	51,1
INCO 45D	44	41,0	1319,0	10,5	68,0	87,0	89,7	114,7	80,7	46,0	54,0	67,3
INCO 50D	50	45,9	1653,0	14,1	60,0	72,0	99,2	119,0	89,3	51,0	60,0	74,4
INCO 60D	53	49,8	1944,0	16,0	60,0	72,0	116,7	140,0	105,0	60,0	70,0	87,5
INCO 70D	57	53,7	2269,0	18,1	60,0	72,0	136,1	163,3	122,5	70,0	82,0	102,1
INCO 90D	63	60,9	2917,0	22,6	60,0	72,0	175,0	210,0	157,5	90,0	105,0	131,3
INCO 100D	69	64,2	3241,0	27,4	60,0	72,0	194,4	233,3	175,0	100,0	117,0	145,8

Observação: Módulo de Elasticidade 21.000 Kgf/mm²

Fonte: Incotep Sistemas de Ancoragem (2020)

2.9 Fases de injeção

O tirante pode ser injetado em fase única ou em fases múltiplas. Aglutinantes mais utilizados para injeção do bulbo são a calda de cimento e a resina. Os equipamentos necessários para confecção do aglutinante para injeção, são o misturador de calda (cimento + água), e a bomba de injeção sob pressão;

As fases de injeção são descritas de acordo com a norma:

2.9.1 Fase única

No item 5.6.2 p 16 da NBR 5629/2018 a injeção por fase única é descrita como:

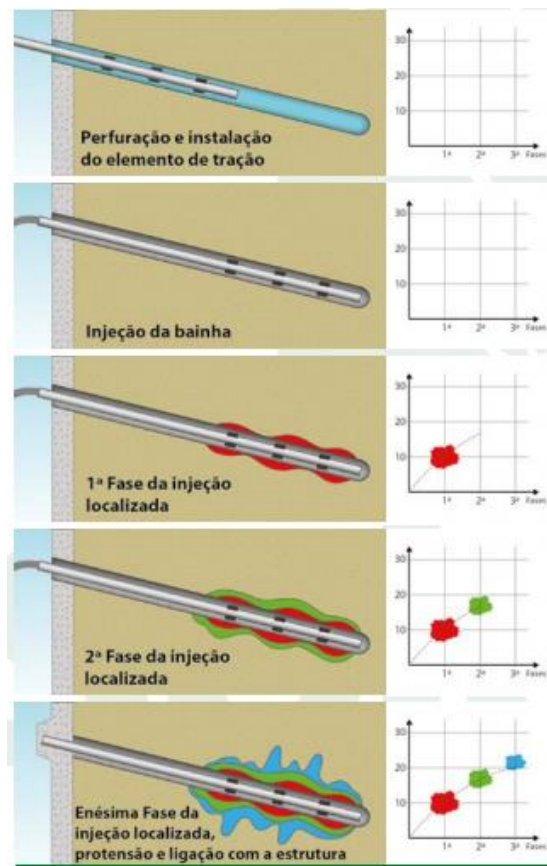
Injeção executada pelo preenchimento ascendente do furo aberto no solo;

2.9.2 Fases múltiplas

No item 5.6.2 p 16 da NBR 5629/2018 injeção por fases múltiplas é descrita como:

Injeção complementar à anterior, executada por meio de válvulas, que permite reinjeção de calda ou de outro aglutinante em uma ou mais fases. A figura 12 detalha as injeções.

Figura 12 - Modelo esquemático de injeções múltiplas



Fonte: Solotrat (2020)

2.10 Etapas e equipamentos para injeção

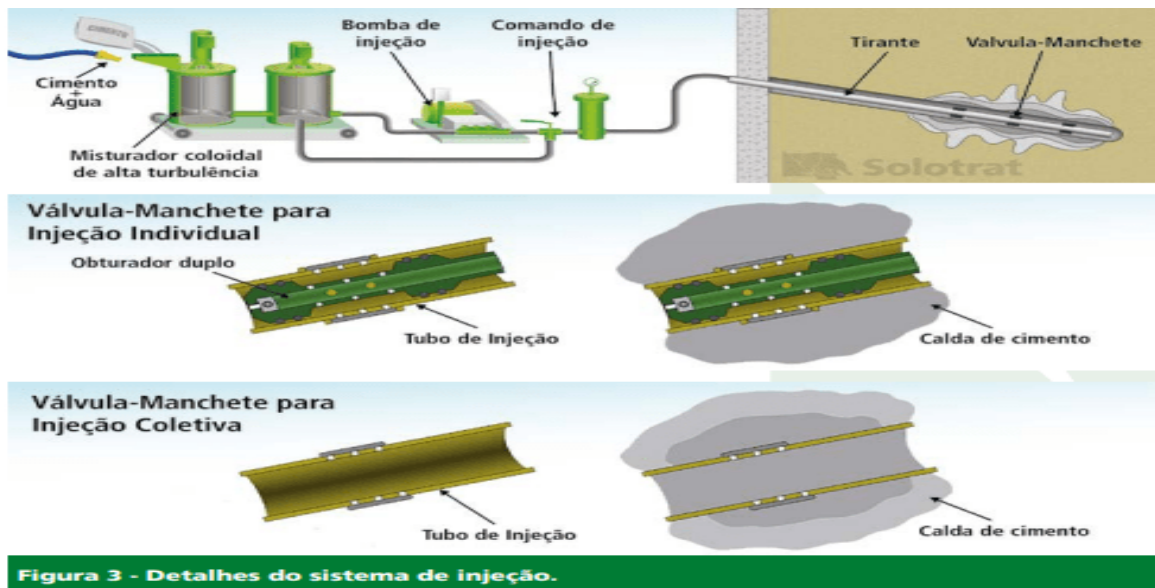
Operação para fixar a armação de tração no terreno, resultante da introdução sob pressão de um aglutinante, usualmente calda de cimento (cimento + água) ou resina pega rápida ou lenta.

Misturador e agitador- Faz a preparação da calda de cimento em misturador de alta turbulência para manter o estado coloidal da mistura, medindo geometricamente seu volume. Atinge velocidade angular de 1200 revoluções/minuto e faz com que a mistura fique homogênea.

Obturador- Acessório roscável nas extremidades das colunas de injeção (no caso de injeção nas válvulas-manchete), que permite o fluxo da calda de injeção somente ortogonalmente ao seu eixo, e no espaço compreendido pelos dois sistemas de vedação.

Equipamento utilizado tanto para injeção de aglutinantes, quanto para execução de ensaios de permeabilidade (perca d'água), porém o obturador duplo é o mais indicado para tirantes, e o de cruzeta para ensaio de perca d'água. A figura 13 detalha o processo executivo.

Figura 13 - Modelo esquemático de injeção



Fonte: Solotrat (2020)

2.11 Considerações para Tirantes Ativos

2.11.1 Trecho livre

É a parte do elemento que não existe contato com o aglutinante, ou seja, fica isolado da calda de injeção. Na transição entre os trechos livre e ancorado, geralmente os tubos são vedados com massa plástica para não permitir o contato da calda com o trecho livre.

2.11.2 Trecho ancorado

De acordo com AWA Comercial (2020) trecho ancorado é região onde o aço está ancorado dentro do cimento. Essa parte é conhecida como bulbo de ancoragem e transfere a carga do aço para o solo que está ao redor da estrutura. Construído mediante a injeção de calda de cimento pelo fator A/C de 0,5 entre os pesos de água e cimento. Os ensaios das ancoragens indicam se há ou não a necessidade de fases múltiplas de injeção. Para que o aço

receba um total envolvimento do trecho ancorado é usual o emprego de espaçadores ou centralizadores a intervalos de 2 a 3 m, para que o elemento não encoste nas extremidades do furo.

2.11.3 Calda

De acordo com a NBR 5629 (2018, p. 8 e 9), as dosagens para injeção serão da seguinte forma:

- a) 0,5, para a execução da bainha (injeção inicial de chumbamento para a fixação do tirante), sendo aceita outra dosagem, desde que comprovada por ensaios específicos de que sua resistência aos 28 dias supera 25 MPa;
- b) 0,5 a 0,7 para execução de reinjeção.

2.11.4 Protensão de ancoragem

A finalidade da protensão é tracionar a ancoragem, deixando o tirante sob carga antes da aplicação dos empuxos do maciço, com o objetivo do travamento da estrutura.

De acordo com a NBR-5629/2018 a fase de protensão da ancoragem deve ser executada após 7 dias da cura da calda com cimento Portland comum, ou após 3 dias da injeção de calda de cimento de alta resistência inicial.

2.11.5 Carga de trabalho

De acordo com a Serki Fundações Especiais (2020) a carga de trabalho dos tirantes (Ft) corresponde à carga que pode ser aplicada ao tirante de forma que ele apresente segurança necessária contra o escoamento do elemento resistente à tração, contra o arrancamento do bulbo e contra deformações por fluência.

2.11.6 Carga de Incorporação

A carga de incorporação é a carga aplicada no elemento durante a sua incorporação na estrutura.

2.12 Ensaios

Os ensaios que são aplicados nos elementos são denominados de ensaio e qualificação, recebimento e ensaio de fluência.

De acordo com o item 5.7.2.2 da ABNT-NBR 5629/2018 ensaio de qualificação se resume por:

Verificação da capacidade de carga do tirante e seus deslocamentos sob carga, calculado o seu comprimento livre e avaliado o atrito ao longo deste comprimento livre, a partir dos deslocamentos observados.

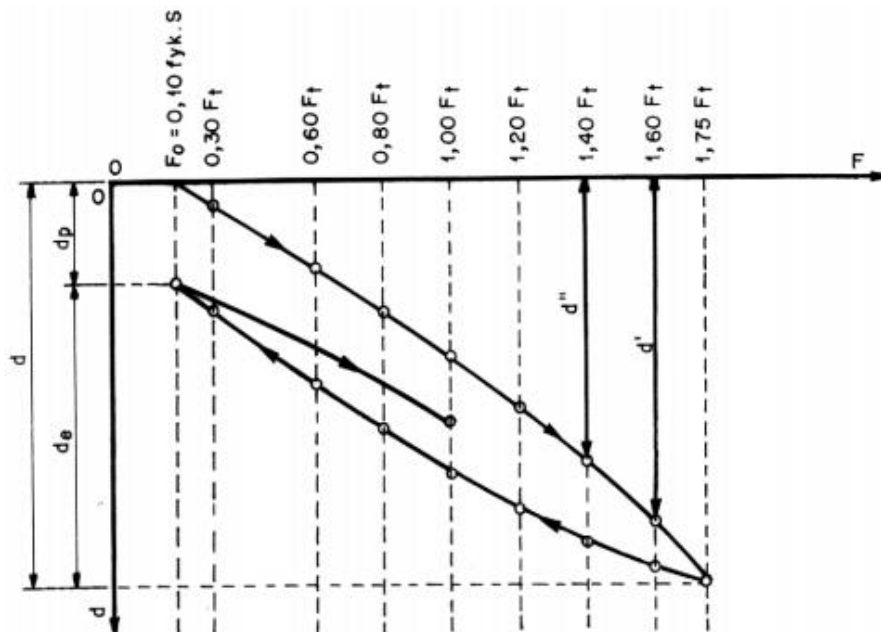
Os ensaios de qualificação devem ser realizados em 1% do número total de tirantes da obra, por tipo de terreno e por tipo de tirante, com um mínimo de 2 ensaios por obra. Neste ensaio a carga máxima corresponde à carga de trabalho (F_t) multiplicada pelo fator de segurança adotado, é no máximo $0,9 \cdot f_{yk} \cdot S$, podendo ser melhor entendido pela tabela 5 abaixo e pelo gráfico 1 recomendado pela norma.

Tabela 5 - Carregamentos para ensaio de Qualificação

Tirante	% dos tirantes	Estágios de carga e descarga					
Permanente	1%	F0	0,4.(Ft.FS)	0,75.(Ft.FS)	1,0.(Ft.FS)	1,25.(Ft.FS)	1,75.(Ft.FS)
Provisório	1%	F0	0,4.(Ft.FS)	0,75.(Ft.FS)	1,0.(Ft.FS)	1,25.(Ft.FS)	1,50.(Ft.FS)

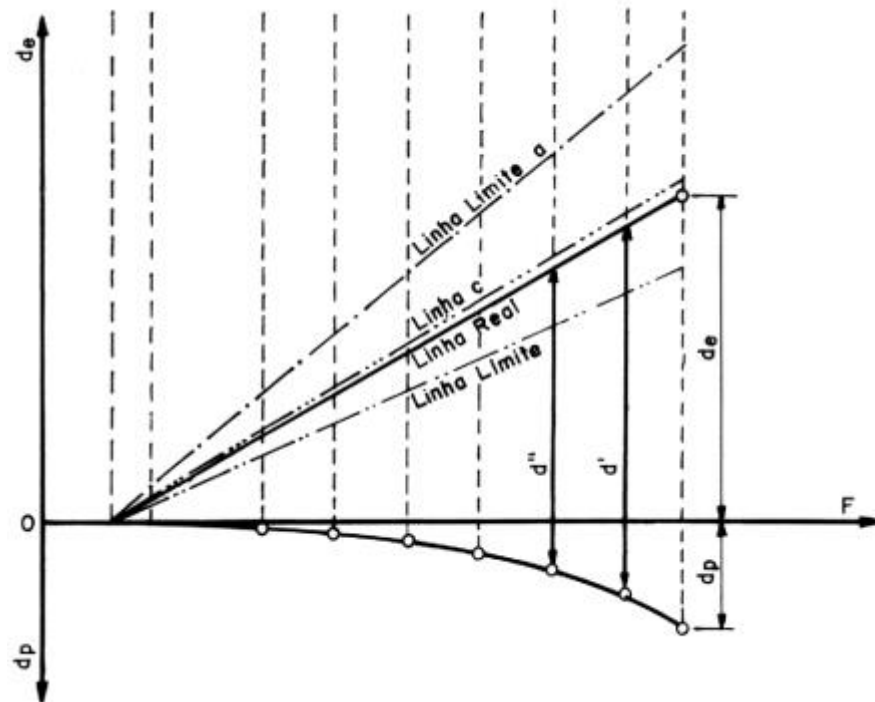
Fonte: Serki Fundações Especiais (2020)

Gráfico 1 - Diagrama de ensaio de qualificação recomendado pela NBR 5629/2018



Fonte: NBR 5629 (2018)

Gráfico 2 - Cargas x Deslocamentos Totais



Fonte: NBR 5629 (2018)

2.12.1 Ensaio de Recebimento

Já nos ensaios de recebimento a carga máxima do ensaio corresponde à carga de trabalho multiplicada por 1,75 e 1,4 para tirantes permanentes e 1,5 e 1,2 para tirantes provisórios. Estes ensaios são realizados em 100% dos tirantes nos quais não são realizados ensaios de qualificação. Os carregamentos estão descritos na tabela 6.

Tabela 6 – Carregamentos para ensaio de Recebimento

Tirante	% dos tirantes	Estágios de carga e descarga								
		F0	0,3.Ft	0,6.Ft	0,8.Ft	1,0.Ft	1,2.Ft	1,4.Ft	1,6.Ft	1,75.Ft
Permanente	10%	F0	0,3.Ft	0,6.Ft	0,8.Ft	1,0.Ft	1,2.Ft	1,4.Ft	1,6.Ft	1,75.Ft
	90%	F0	0,3.Ft	0,6.Ft	0,8.Ft	1,0.Ft	1,2.Ft	1,4.Ft		
Provisório	10%	F0	0,3.Ft	0,6.Ft	0,8.Ft	1,0.Ft	1,2.Ft	1,5.Ft		
	90%	F0	0,3.Ft	0,6.Ft	0,8.Ft	1,0.Ft	1,2.Ft			

Fonte: Serki Fundações Especiais (2020)

De acordo com a NBR-5629/2018 no item 5.7.2.3.2 as medições requeridas são:

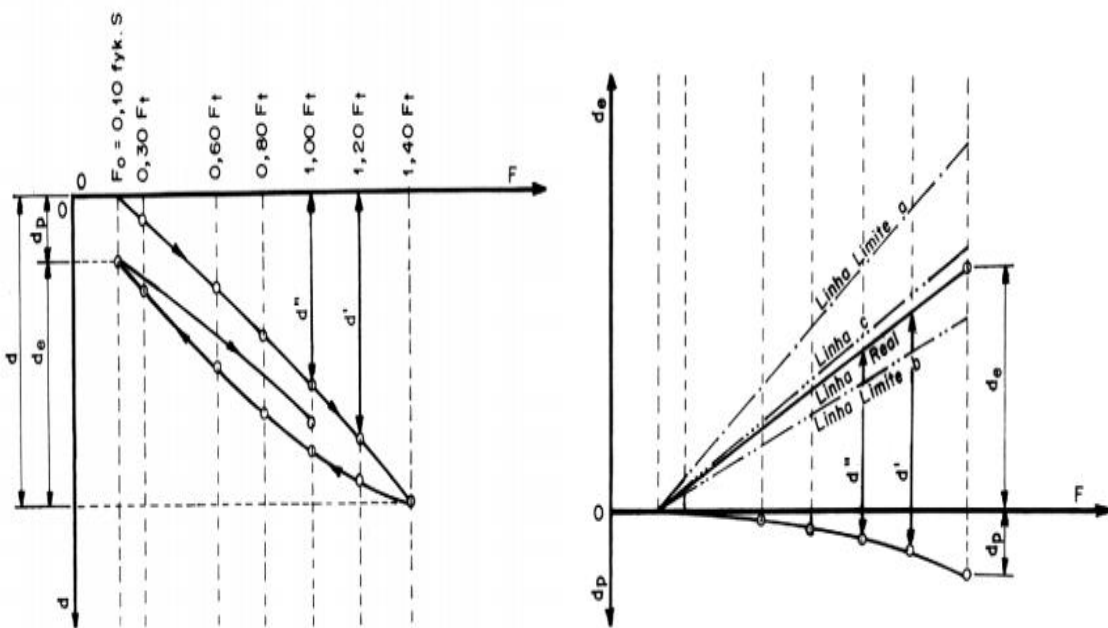
a) cargas - através de correlação com a pressão indicada em manômetro do conjunto manômetro-macaco-bomba, com atestado de aferição com data inferior a um ano, permitindo-se ao projetista ou ao contratante exigir um atestado de aferição do conjunto manômetro-macaco-bomba mais recente;

b) deslocamentos da cabeça - devem ser medidos com régua graduada, a partir da carga inicial F_0 , em relação a um ponto de referência fixo na extremidade do tirante, na direção da tração aplicada, em relação à viga ou à linha de referência fixada em local livre da influência dos movimentos localizados da estrutura ou do terreno. Com o macaco reagindo contra a estrutura apoiada no terreno natural, a medição pode ser efetuada no êmbolo do macaco, desde que se meça o deslocamento da estrutura.

Os ensaios devem atender a seguinte distribuição de acordo com o item 5.7.2.3.4 ABNT-5629/2006, atualizada em 2018:

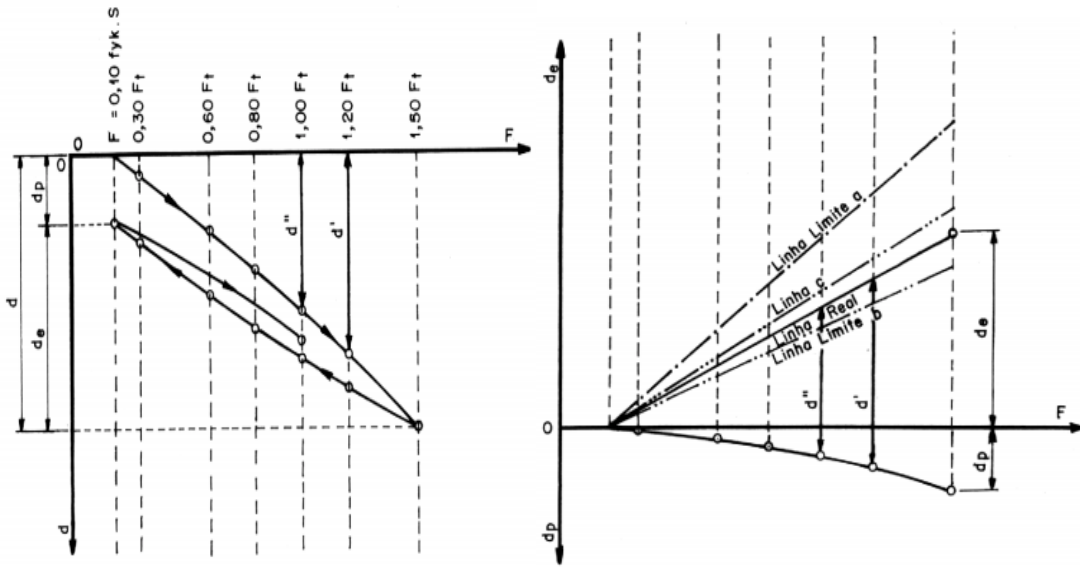
c) para tirantes definitivos - executar ensaios do tipo A em pelo menos 10% dos tirantes da obra e do tipo B nos restantes; b) para tirantes provisórios - executar ensaios do tipo C em pelo menos 10% dos tirantes da obra e do tipo D nos restantes.

Gráfico 3 - Gráfico do ensaio de recebimento tipo A



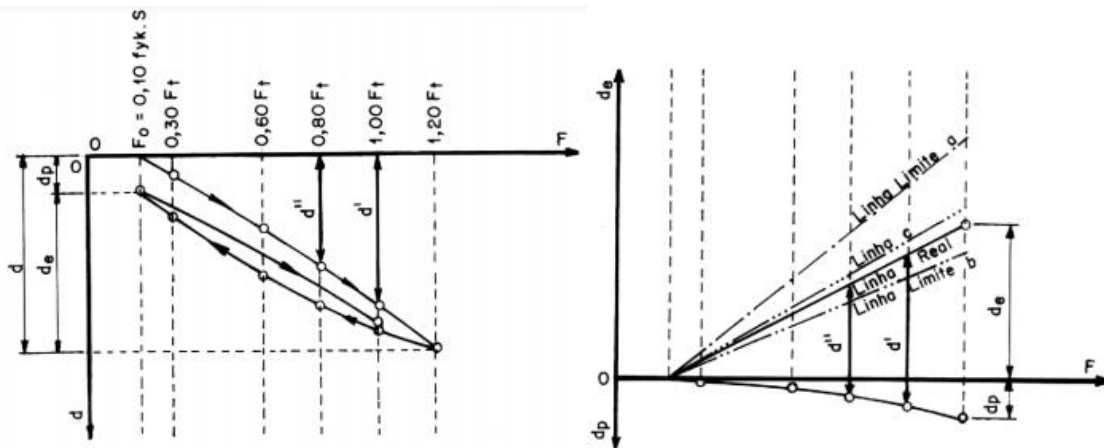
Fonte: NBR 5629 (2018)

Gráfico 4 - Gráfico do ensaio de recebimento tipo B



Fonte: NBR 5629 (2018)

Gráfico 5 - Gráfico de ensaio de recebimento tipo C



Fonte: NBR 5629 (2018)

Gráfico 6 - Gráfico de ensaio de recebimento tipo D

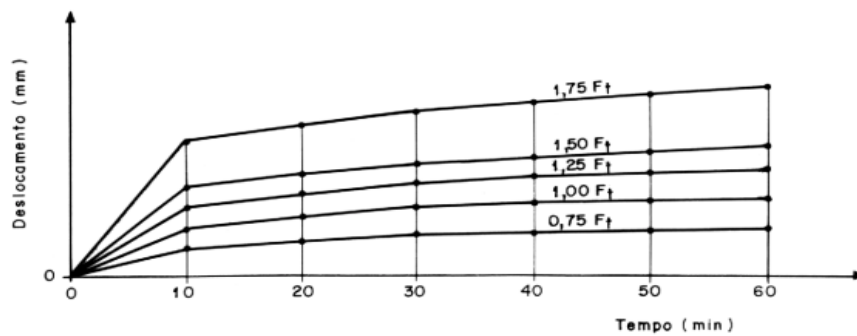


Figura 7 - Ensaio de recebimento tipo D

Fonte: NBR 5629 (2018)

De acordo com a NBR-5629/2018 ensaio de recebimento consiste em medir deslocamentos da cabeça do tirante tracionado pelo macaco, sob carga constante, no mínimo para os seguintes tempos, em cada estágio: 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min e 60 min;

Os ensaios devem seguir cargas constantes e nos seguintes níveis de carregamento: 0,75 Ft; 1,00 Ft; 1,25 Ft; 1,50 Ft; e 1,75 F. Devem ser obrigatoriamente executados ensaios em 1% dos tirantes por obra, por tipo de terreno e por tipo de tirante, com um mínimo de 2 ensaios por obra. (Item 5.7.2.4.3 NBR- 5629/2018- Tirantes Ancorados no Terreno).

2.12.2 O ensaio de fluência deve ser interpretado de acordo com os gráficos (tempo) x (deslocamento)

a) log tempo x deslocamento em cada estágio: Neste gráfico são determinados os coeficientes de fluência, obtidos graficamente para cada estágio, assumindo como representativo do comportamento do tirante uma reta interpolada pelos pontos medidos. Por facilidade construtiva, considerar o coeficiente de fluência igual ao deslocamento verificado em um ciclo logarítmico de tempo, entre 10 min e 100 min, por exemplo. O coeficiente de fluência (CF) é definido por:

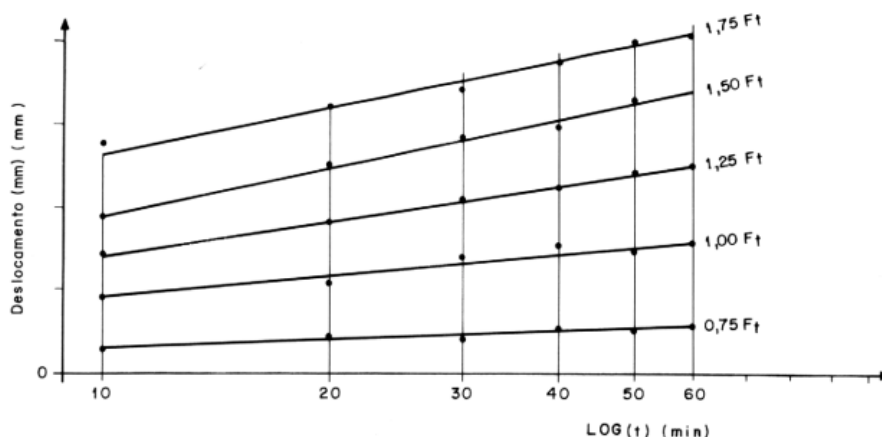
$$C_F = \frac{d_2 - d_1}{\log t_2 - \log t_1} \quad (1)$$

Onde:

d_1 e d_2 = deslocamentos em dois pontos
quaisquer da reta

t_1 e t_2 = tempos correspondentes

Gráfico 7 - Gráfico de ensaio de fluência (tempo x deslocamento)



Fonte: NBR 5629 (2018)

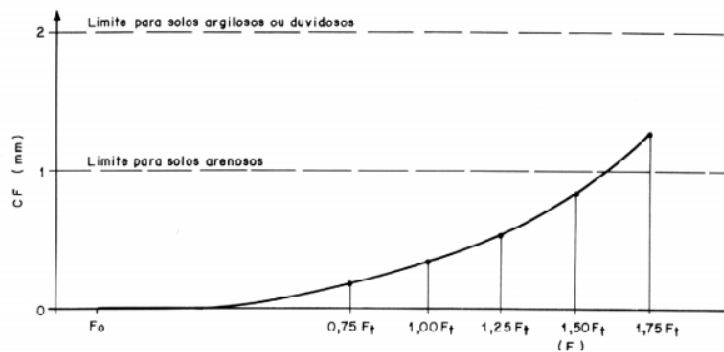
Carga x coeficiente de fluência (Figura 8) do Anexo A) - neste gráfico são plotados os coeficientes de fluência de cada estágio de carregamento e traçada uma curva com base nestes pontos, de forma a representar o comportamento de fluência do tirante com o acréscimo de cargas.

Conforme o item 5.7.2.4.5 da NBR 5629/2018:

São aceitos tirantes com coeficiente de fluência obtidos no gráfico F x CF para uma carga de $1,75 F_t$, menores ou iguais a:

- a) 1 mm para bulbos em terrenos arenosos;
- b) 2 mm para bulbos em terrenos argilosos ou não arenosos.

Gráfico 8 - Ensaio de fluência



Fonte: NBR 5629 (2018)

2.13 Definições para Tirantes Passivos

De acordo com a NBR 11682 (2009), estes elementos de reforço são ancoragens passivas que, por definição, é qualquer tipo de ancoragem não protendida. Só entra em carga quando atuarem as cargas da estrutura, por deslocamento desta ou do terreno ao qual esteja vinculada. A nomenclatura utilizada em projetos e manuais técnicos são: tirantes passivos, chumbadores e grampos.

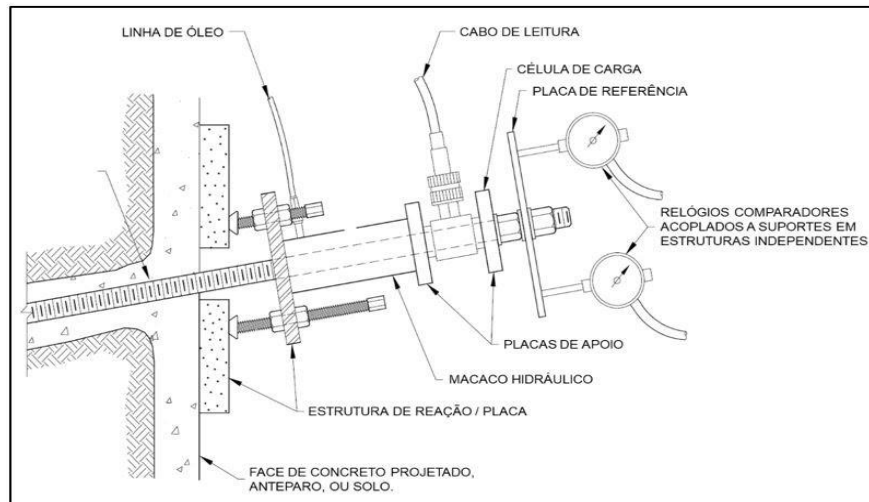
2.13.1 Ensaio de arrancamento

Os ensaios de arrancamento, ou ensaios de prova de carga de tirantes passivos, são utilizados para obter a resistência ao cisalhamento da interface solo-grampo, ou seja, do contato do bulbo de cimento com o solo. O resultado apresenta a tensão de cisalhamento média necessária para que um grampo seja arrancado, por um esforço axial. Este ensaio mostra também o deslocamento devido a carga aplicada. Durante todo o teste, estas duas variáveis (força e deslocamento) são monitoradas.

De acordo com Naresi (2020), estes ensaios permitem verificar a qualidade do serviço, e averiguar se houve arrancamento do chumbador na calda, ou se houve deslocamento do bulbo no solo, e que pode ser melhor entendido na figura 14.

Conforme o item 5.7.2.2.4 da NBR-5629/2018 deverá ser executado pelo menos dois ensaios.

Figura 14 - Modelo esquemático de ensaio arrancamento



Fonte: Naresi (2020)

A resistência ao arrancamento (q_s) é obtido em função de outras variáveis através de equação. A variável D equivale ao diâmetro (\emptyset) do furo, T_{max} corresponde a máxima força aplicada pelo equipamento e L_a é o comprimento ancorado. Abaixo encontra-se a equação do ensaio de arrancamento e a tabela 7, que apresenta a estimativa de resistência ao cisalhamento no contato solo e grampos:

$$T_{max} = \pi \cdot D \cdot L_a \cdot q_s \quad (2)$$

Tabela 7 - Tabela de estimativas de valores ao arrancamento

Material	Método Construtivo	Tipo de Solo/Rocha	q_s (kPa)
solos coesivos	perfuração rotativa	areia/pedregulho	100-180
		silte arenoso	100-150
		silte	60-75
		solo residual	40-120
		colúvio (+ finos)	75-150
	grampos cravados	areia/pedregulho (pequeno cobrimento)	190-240
		areia/pedregulho (elevado cobrimento) colúvio	280-430 100-180
perfuração a trado	silte arenoso (aterro)	20-40	
	silte arenoso silte argilo-arenoso	55-90 60-140	
"jet grouting"	areia	380	
	areia/pedregulhos	700	
solos granulares/ finos	perfuração rotativa	silte argiloso	35-50
	grampos cravados	areia siltosa	90-140
	perfuração a trado	"loess"	25-75
		argila mole	20-30
		argila rija	40-60
silte argiloso rijo areia argilosa (calcárea)		40-100 90-140	

Fonte: Maxwell (2020)

De acordo com Teixeira (2011) os esforços causados nos chumbadores são esforços normais. Porém podem ocorrer solicitações de cisalhamento e flexão.

2.14 Dimensionamento de Tirantes Ativos

O dimensionamento dos tirantes deve ser seguido pela norma regulamentadora, a NBR-5629/2006, com última atualização em 2018.

2.14.1 Dimensionamento da seção do aço

O tirante deve ser dimensionado de acordo com a sua tensão máxima admissível, onde é denominada de esforço axial de tração.

No caso dos tirantes permanentes (sob carga, ativos), a NBR-5629, é dada pela expressão:

Equação para tirantes permanentes são aqueles cujo tempo é superior a dois anos

$$\sigma_{adm} = \frac{f_{yk}}{1,75} \times 0,9, \text{ em mpa} \quad (3)$$

Equação para tirantes provisórios cujo tempo é inferior a dois anos;

$$\sigma_{adm} = \frac{f_{yk}}{1,50} \times 0,9 \quad (4)$$

f_{yk} - Resistência característica do aço.

σ_{adm} - Tensão admissível.

Segunda a NBR-5629/2018- tirantes com elementos de aço não devem ser inferiores a 50mm² de área.

2.14.2 Comprimento do Bulbo de ancoragem

O comprimento do bulbo de ancoragem é determinado de acordo com a carga de trabalho do tirante, e seus coeficientes de ancoragem. O comprimento mínimo dos bulbos de ancoragem deve ser 3,00m.

2.14.3 Dimensionamento do trecho livre

O trecho livre deve ter comprimento suficiente para que as tensões mobilizadas no trecho ancorado atuem fora da zona de potencial ruptura e que se alcance solo competente para a ancoragem. A NBR 5629/2018 não especifica um valor fixo de comprimento mínimo, apenas que o tamanho seja suficiente para que o centro do trecho ancorado esteja sobre uma superfície de ruptura com fator de segurança de no mínimo 1,5.

2.14.4 Dimensionamento do trecho ancorado

O trecho ancorado deve ser dimensionado para distribuir no solo a carga mais alta feita pela fase de protensão. As proposições de cálculo giram em torno de determinar a tensão máxima que pode ser mobilizada na interface de contato entre o solo e a calda de cimento.

A NBR 5629/2018 recomenda que o comprimento e a seção transversal dos tirantes sejam definidos a partir dos resultados dos ensaios básicos e de qualificação. Para a fase preliminar de dimensionamento, a norma sugere que a resistência do tirante à tração seja calculada de maneira diferente para ancoragens em solo arenoso, em solo argiloso e em rocha. Em tirantes permanentes, o fator de segurança adotado é de 1,75. Em tirantes provisórios, é igual a 1,5. (SILVA, 2015). Os coeficientes estão dispostos como mostra a tabela 8.

Tabela 8 – Coeficientes para dimensionamento

Solo	Compacidade		
	Fofa	Compacta	Muito compacta
Silte	0,1	0,4	1
Areia fina	0,2	0,6	1,5
Areia média	0,5	1,2	2
Areia grossa e pedregulho	1	2	3

Fonte: Silva (2015)

A norma indica para solos arenosos, o cálculo através a fórmula:

$$T = \sigma z' * U * Lb * kf \quad (5)$$

T = resistência do tirante à tração, em kN;

$\sigma z'$ = tensão efetiva no ponto médio da ancoragem, em kPa;

U = perímetro médio da seção transversal da ancoragem, em m;

Lb = comprimento do trecho ancorado, em m;

kf = coeficiente de ancoragem;

Para solos argilosos, segunda norma:

$$T = \alpha * U * Lb * su \quad (6)$$

T = resistência do tirante à tração, em kN

α = coeficiente redutor ao cisalhamento;

U = perímetro médio da seção transversal da ancoragem, em m

Lb = comprimento do trecho ancorado, em m;

su = resistência ao cisalhamento não drenado do solo argiloso, em kPa.

2.15 Dimensionamento de Solo Grampeado - Utilização de Tirantes Passivos

Segundo Zirlis e Pitta (1992) analisa-se o solo grampeado como um grande muro de gravidade limitado pela dimensão do chumbador. Dessa forma, o solo grampeado deve resistir

ao tombamento e escorregamento resultante dos empuxos de solo. Existem diversos métodos para o dimensionamento do solo grampeado, os quais baseiam-se em modelos de equilíbrio limite e de tensão e deformação.

A realização de projetos de solo grampeado implica na definição dos seguintes dados relativos aos reforços: comprimento (L), ângulo de instalação, espaçamento vertical (Sv) e horizontal (Sh). Não existe uma metodologia padrão ou única para o dimensionamento de uma estrutura de solo grampeado. As bibliografias pertinentes apresentam diferentes enfoques em relação às premissas de cálculo. Em alguns casos, o maciço reforçado é considerado com comportamento semelhante ao de um muro de gravidade. Sendo assim, o maciço reforçado deve ser verificado quanto ao deslizamento, ao tombamento, à capacidade de carga do solo de fundação e à estabilidade global.

No Brasil, entretanto, não há uma metodologia padrão bem definida para o dimensionamento do sistema solo grampeado. A prática de dimensionamento baseia-se em metodologias de equilíbrio limite, em que os fatores de segurança são obtidos a partir de superfícies de ruptura preestabelecidas. Este fato faz com que o dimensionamento da estrutura reforçada dependa da magnitude dos parâmetros de resistência do solo e da resistência ao cisalhamento no contato solo/reforço "qs". A tabela 9 traz os parâmetros de resistência.

O valor de "qs" é obtido a partir do diâmetro do furo Ø, do comprimento da interface solo calda de cimento "LS" e da carga máxima "TL" obtida no ensaio. O valor de "qs" é definido em unidades de tensão, normalmente em kPa. (PITTA, SOUZA e ZIRLIS, 2013).

$$q_s = \frac{T_L}{\pi \times \phi_{furo} \times L_S} \quad (7)$$

Porém existem tabelas preestabelecidas com valores da resistência de aderência:

Tabela 9 - Tabela de valores de resistência de aderência "qs"

	Camada	qs [kPa]	qs, adm [kPa]	t [kN/m]
1	Argila arenosa	132,9	66,45	20,9
2	Areia argilosa	163,6	81,80	25,7
3	Silte areno argiloso	183,8	91,90	28,9
4	Silte argiloso	220,9	110,45	34,7
	Camada única: $\bar{N}_{SPT} = 7,4$	187,08	93,54	29,4

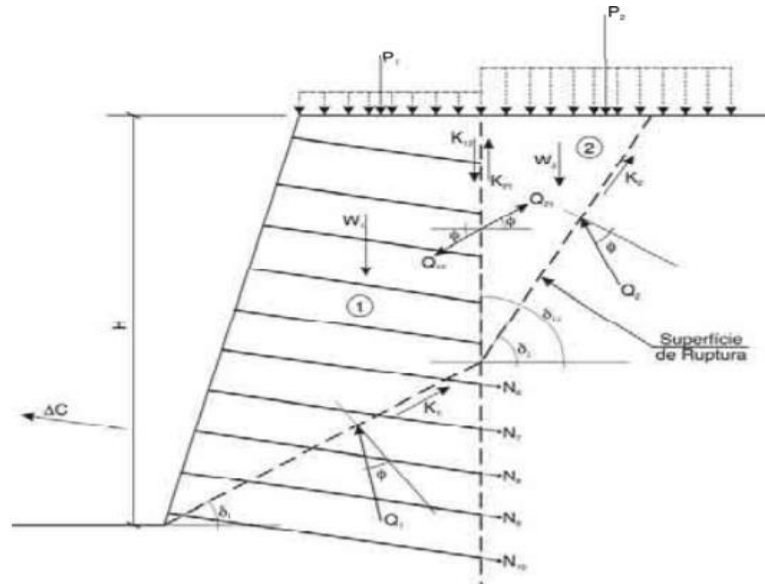
Fonte: (ZIRLIS e PITTA, 1992)

Cálculo da tensão admissível da barra de aço do chumbador:

$$R_{T_{adm}} = f_{yd} \times A_{aço} \quad (8)$$

Método de dimensionamento proposto por Stocker (1979), onde leva-se em consideração as ações das forças e como a estrutura se comporta. Os valores são obtidos conforme ábacos de análise segundo (FEIJÓ, 2007).

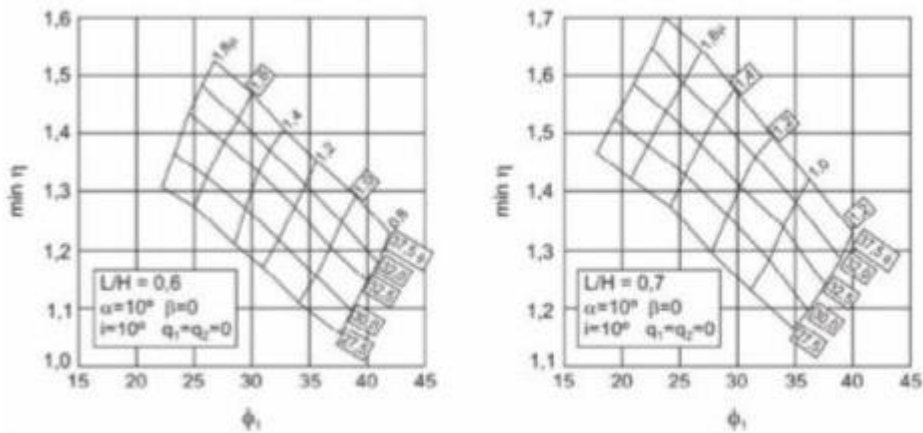
Gráfico 9 - Análise das solicitações nas contenções



Fonte: Feijó (2007)

Segundo Gassler e Guedhus (1981) através de ensaios realizados e avaliação de resultados buscaram a influência da variação de cada parâmetro de cálculo no fator de segurança da estrutura. A partir dessas considerações foram criados ábacos que auxiliam no dimensionamento conforme o gráfico 10.

Gráfico 10 - Ábacos para dimensionamento



Fonte: Silva (2015)

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa sobre os assuntos do trabalho será dividida em etapas de acordo com as ordens de execução. Está dividida em estruturas de contenção, tirantes e execução de tirantes em duas classificações.

A primeira parte está focada em descrever as principais estruturas existentes utilizadas em sua construção o assunto tema deste trabalho. Na segunda parte será apresentado de maneira profundamente detalhada o funcionamento dos tirantes, apresentação de modelos disponíveis no mercado, suas aplicações para cada elemento. E por fim, na terceira parte do trabalho será apresentada a parte técnica de execução dos tirantes, desde a etapa inicial (perfuração) até a etapa final (protensão) e equipamentos necessários para a execução. Mostrar os ensaios necessários sendo eles: qualificação, recebimento e fluência para tirantes ativos, e o ensaio de arrancamento para tirantes passivos. Dotar de uma situação hipotética mediante ao dimensionamento de tirantes ativos, em uma cortina atirantada fictícia previamente dimensionada em projeto, para verificação e cálculo do coeficiente de segurança utilizado.

A bibliografia deste trabalho será exclusivamente feita a partir de manuais e normas técnicas aperfeiçoadas no Brasil. Catálogos de serviços geotécnicos de grandes empresas conceituadas, também será um grande paliativo para o trabalho.

4 ANÁLISE E RESULTADOS

A análise da comparação dos dois métodos de execução com tirantes ativos e passivos dispõe de tais diferenças em:

Tirantes ativos e passivos (chumbadores) são elementos aplicados em locais sujeitos a instabilidades, onde a contenção utilizada é de acordo com projeto.

A utilização do método de tirantes passivos é dada pela execução do solo grampeado que é uma técnica de melhoria de terrenos, utilizando chumbadores verticais enterrados no solo e que são envolvidos pelo aglutinante estabilizador. Eles não funcionam semelhante aos tirantes ativos, que são protendidos com a finalidade de travamento da estrutura sendo elementos estabilizadores de maciços que estão sob carga constante de trabalho, fazendo com que não haja deslocamentos verticais e horizontais. As diferenças executivas entre os dois métodos podem ser compreendidas que os ativos estarão sempre tracionados contra a estrutura, apresentam trechos livres e parte do comprimento total é ancorado. Diferença que nos chumbadores já não existem, onde toda sua seção é ancorada no terreno, e não necessitam de protensão. Os ensaios de teste para os protendidos são os de qualificação, recebimento e fluência, e para chumbadores é o de arrancamento.

4.1 Preliminares para protensão dos tirantes ativos

No caso de execução de tirantes protendidos é necessário um muro de concreto, devidamente calculado para transmitir o empuxo gerado pela protensão dos tirantes ao terreno, efetivando assim o arrimo.

Os taludes naturais podem ser eficientemente contidos através de cortinas atirantadas com a execução de tirantes protendidos, para prevenir ou corrigir desmoronamentos que os tornam instáveis e passíveis de rupturas e risco para pessoas e propriedades. Para que seja realizada a protensão dos elementos de tração é necessária uma superfície de apoio do conjunto placa + porca, podendo ser uma parede estrutural de concreto armado, ou uma parede diafragma, confeccionada a partir da instalação de camadas de telas de aço mais a aplicação de camadas de concreto projetado via seca ou via úmida. A figura 15 exemplifica uma cortina atirantada protendida em concreto armado.

Figura 15 - Cortina atirantada protendida em concreto armado



Fonte: Solotrat (2020)

A protensão é feita utilizando um conjunto de equipamento Macaco-Bomba hidráulico, que se encaixa na cabeça do tirante (placa + porca), apoiando sobre a placa. O equipamento traciona a barra de ancoragem com a aplicação de cargas progressivas até se alcançar a tensão de projeto. A bomba hidráulica pode ser de operação manual ou elétrica, o que possibilita uma maior flexibilidade segundo as características e o local da obra. O macaco deve ter capacidade de trabalho de, no mínimo, 1,25 x a carga máxima de ensaio. (SOLOTRAT, 2020).

A mão de obra para a execução da protensão dos tirantes é feita pelo profissional de campo chamado “Protendista”, é ele quem faz a montagem do conjunto de ancoragem em cada tirante, com elementos de tração alinhados ao eixo do tubo de injeção, executa o ensaio de tração e incorporação e também preenche boletim do ensaio.

4.2 Mão de obra especializada para execução de tirantes ativos e passivos


O encarregado geral é responsável por verificar as condições para entrada e movimentação de equipamentos no canteiro da obra, descarregamento de equipamentos, utensílios, ferramentas e instalação do canteiro de trabalho. Ele verifica a sequência executiva de acordo com características da obra e necessidades dos clientes, coordena o DDS (diálogo diário de segurança) antes do início das atividades diárias onde instrui em relação à segurança durante a execução dos serviços. O profissional também instala a perfuratriz ou a sonda junto do ponto a ser perfurado, com inclinação, direção e fixação que atendam ao projeto e à execução da perfuração, determina o sistema de perfuração e loca o conjunto de injeção.

O operador de Perfuratriz executa as perfurações de acordo com o projeto, e leva em consideração, a locação do furo, profundidade, inclinação, e diâmetro do furo.

O montador manuseia os elementos de tração recebidos em rolos, esticando-os, e recebe as barras retílineas e as armazena em local isolado do solo e coberto. Ele executa a proteção anticorrosiva de bancada, além de armazenar os materiais em local coberto, isolado do solo de umidades e agentes corrosivos protegendo-os contra danos.

O injetador instala o tirante no furo e executa a injeção da bainha, prepara a calda de cimento e organiza o controle de volume e pressão de injeção. E por fim preenche boletim de injeção de acordo com a figura 16.

Figura 16 - Boletim de injeção e protensão

BOLETIM DE TIRANTES															
NOME DA OBRA															
N° DA OBRA															
TIPO DE AÇO					Tirante N°										
CARGA DE					2 DADOS DA PERFURAÇÃO										
Trabalho					Material	Compr.	Acumulado	Diâmetro	Início / /						
Incorporação					Solo										
COMPRIMENTO DO TIRANTE					Rocha All.				Fim / /						
Total					Rocha Sã										
Livre					Perda D'água				Revestimento						
Ancorado					Sim Não				Sim Não						
Para Protensão					() () () ()				() () () ()						
3 DADOS DA INJEÇÃO															
BAINHA		HI		DATA / /				FATOR A/C				VOLUME		L	
VÁLVULA NÚMERO	1ª FASE		2ª FASE		3ª FASE		4ª FASE		PRESSÃO MÁXIMA DE INJEÇÃO (kg/cm²)		VOLUME TOTAL				
	HI	A/C	HI	A/C	HI	A/C	HI	A/C							
	HT		HT		HT		HT								
	PA	PI	V(sec)	PA	PI	V(sec)	PA	PI	V(sec)	PA	PI	V(sec)			
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
TOTAIS															
PA - PRESSÃO DE ABERTURA				HT - HORA DO TÉRMINO (HORA:MIN)				NI - VÁLVULA NÃO INJETADA				V - VOLUME DE CALDA			
PI - PRESSÃO DA INJEÇÃO (kg/cm²)				HI - HORA DE INÍCIO (HORA:MIN)				NA - VÁLVULA NÃO ABREU				(SACOS)			
4 OBSERVAÇÕES GERAIS							5 TOTAIS - RESUMO								
							FASE	VOL	SACOS						
							BAINHA								
							VÁLVULAS								
							TOTAL								
							6 VISTOS								
							CLIENTE								
							SOLOTRAT								

Fonte: Solotrat (2020)

E por fim o protendedor que monta o conjunto de ancoragem em cada tirante, com elementos de tração alinhados ao eixo do tubo de injeção, executa o ensaio de tração, incorporação, recebimento e fluência. Ele também é responsável pelo preenchimento do boletim apresentado conforme a figura 16 acima.

4.3 Exemplo de Dimensionamento- Estudo de Caso de Uma Situação Hipotética- Método dos Tirantes Ativos

Foi criada uma situação hipotética para fins de verificação do fator de segurança em um trecho de uma cortina atirantada fictícia. A cortina previamente calculada e dimensionada em projeto demandava uma verificação do coeficiente de segurança utilizado conforme a norma. A situação abaixo apresenta todos os dados relacionados as informações existentes como o conhecimento do solo, as dimensões da cortina e carga de empuxo do material a ser contido. Feita a prospecção do solo, foi possível identificar qual tipo de solo é, e o seu peso específico. O trecho estudado apresenta 18 tirantes distribuídos ao longo da seção de contenção ativa, executada por tirantes ativos (protentidos). Para verificação do coeficiente de segurança é preciso de uma revisão mediante aos cálculos dos tirantes. Os dados necessários estão dispostos na tabela 10.

Tabela 10 – Informações sobre o trecho da cortina

TIRANTE	SOLO	CORTINA
Fyk=600 MPA	$\gamma = 1,8 \text{ KN/M}^3$	Q=7,5 tf/ M ²
EA=21.000 KN	KA= 0,350	L=15,00 M
		H=5,00M

Fonte: O Autor

O primeiro passo é determinar a tensão admissível do tirante, pois a partir dele é possível obter demais informações.

1º Tensão admissível do Tirante: - Considerar fator de segurança de 1,75 por se tratar de tirantes permanentes, conforme NBR 5629/2006 atualizada em 2018.

$$\sigma_{adm} = F_{yk} / 1,75 \times 0,9 \quad (9)$$

$$\sigma_{adm} = 600 \text{ MPA} / 1,75 \times 0,9$$

$$\sigma_{adm} = 308,57 \text{ KN}, \text{ passando para tonelada-força } = 35 \text{ TF}.$$

Cada tirante deverá suportar 35 TF de tensão admissível. A apresentação deste valor em projeto normalmente é dada na unidade tf.

2º Diâmetro do Tirante (Ø)

O diâmetro do tirante é determinado de acordo com o valor da tensão admissível encontrada e que pode ser verificada conforme a tabela de composição do fabricante. Supondo que o fabricante utilizado foi a DIWIDAG, então se enquadra como bitola de 32mm.

3º Cálculo do empuxo ativo atuante no pé da cortina:

Como existe as informações preestabelecidas do solo, aplicamos os valores na fórmula para calcular o valor do empuxo atuante no pé da cortina.

$$S_{ha} = \gamma \cdot Z \cdot K_a - 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_a} + q \cdot K_a \quad (10)$$

$$S_h = (1,8 \text{ KN/m}^3 \cdot 5,00 \cdot 0,350) - (2 \cdot 2,0 \cdot 0,591) + (7,5,00 \text{ tf} \cdot 0,350)$$

$$S_h = 3,411 \text{ tf/m}^2$$

4º Cálculo do empuxo ativo atuante no topo da cortina:

$$S_{ha} = \gamma \cdot Z \cdot K_a - 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_a} + q \cdot K_a \quad (11)$$

$$S_h = -2 \cdot C \cdot \sqrt{K_a} + q \cdot K_a$$

$$S_h = -(2 \cdot 2,0 \cdot 0,591) + (7,5,00 \text{ tf} \cdot 0,350)$$

$$S_h = 0,261 \text{ tf/m}^2$$

5º Cálculo do empuxo total eixo y:

$$E_1 = 0,261 \text{ tf/m}^2 \cdot 5,00 \text{ m} \quad (12)$$

$$E_1 = 1,305 \text{ tf/m}$$

$$E_2 = 3,411 \text{ tf/m}^2 \cdot 5,00 \text{ m} = E_2 = 17,05 \text{ tf/m}$$

$$E_1 + E_2 = 17,311 \text{ tf/m}$$

6º Empuxo total na cortina:

$$E_T = (17,311 \text{ Tf/m} \cdot 15,00 \text{ m}) = 259,665 \text{ TF} \quad (13)$$

7º Determinação do número de Tirantes:

$$259,665 \text{ Tf} / 35 \text{ tf} = 8,00 \text{ tirantes.} \quad (14)$$

A carga de material atrás da cortina dividida pela tensão admissível do tirante apresenta o número da quantidade de tirantes necessários para suportar o empuxo. Porém de acordo com a norma o coeficiente de segurança mínimo a ser utilizado é 2,0, então 8,00 tirantes x 2 = 16,00 tirantes.

8º Verificação do coeficiente de segurança (FS)

Tirantes presentes no trecho da cortina = 18,00

18 presentes no trecho / 8 tirantes encontrados: $F_s = 2,25$. O fator de segurança neste trecho, apresenta um pequeno aumento, onde mediante a revisão pelos cálculos, 16 suportariam o empuxo de material atrás da contenção ativa. A norma que estabelece o parâmetro do coeficiente de segurança, é o da estabilidade da contenção e que tem por diretriz valor mínimo de uso de 2,0.

5 CONCLUSÃO

Com a evolução da tecnologia, o aproveitamento dos espaços é a cada dia mais solicitado pelas construções, pois o ganho de área é a principal chave para a realização de obras de contenções.

Seguindo o objetivo do trabalho que foi fazer uma comparação sistêmica das execuções dos tirantes classificados em ativos e passivos, e a escolha de um método para dimensionamento da barra de ancoragem em uma contenção ativa. A verificação e detalhamento da execução de ambos foram seguidos segundo a norma vigente no Brasil a NBR-5629/2006 atualizada em 2018. Constatou-se que mesmo sendo classificados como tirantes diferentes, tanto na composição do elemento, quanto em sua fabricação e execução, ambos são viáveis para estabilização de maciços, pois são capazes de suportar elevadas cargas de empuxo provocadas pelo deslocamento da contenção.

O dimensionamento dos tirantes no trecho da cortina hipotética teve como objetivo a determinação da tensão admissível da barra do tirante, os empuxos causados pelas forças atrás da cortina e a determinação da quantidade de tirantes. A verificação do valor encontrado no trecho, além de ser possível averiguar se corresponde a segurança, também é capaz de saber o valor que apresenta. A partir dos dados de projeto foi possível averiguar que a princípio o trecho da cortina continha 18,00 tirantes em uma área de 75m². Feito o dimensionamento mediante aos dados de projeto, constatou-se que o número de tirantes devido à carga da estrutura calculado teria que ser 8. O número de tirantes, multiplicado pelo FS=2,0, encontra-se um valor de 16,00 tirantes no trecho. Porém o fator de segurança utilizado foi de 2,25 e está acima do recomendado pela norma que é 2,0. A elevação do fator de segurança pode acarretar conseqüentemente ao aumento do valor da obra, onde foi verificado que 16,00 tirantes suportariam a carga de empuxo no trecho da cortina, e a mesma na área indicada acima apresentam 18.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 11682**: 2009. Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: 2009. p. 33.
- ABNT. **NBR 5629**: 2018. Tirantes ancorados no terreno — Projeto e execução. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2018. p. 38.
- AWA COMERCIAL. O porquê do sucesso com aço para protensão. **Materiais Educativos**, 2020. Disponível em: <<https://awacomercial.com.br/o-porque-do-sucesso-com-aco-para-protensao/>>. Acesso em: out. 2020.
- BRASFOND FUNDAÇÕES ESPECIAIS. Paredes diafragma. **Brasfond Fundações Especiais**, 2020. Disponível em: <<http://www.brasfond.com.br/fundacoes/pdiafragma.html>>. Acesso em: 15 out. 2020.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. Publicação IPR - 719. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2006. p. 274.
- CPB CONCRETO PROJETADO DO BRASIL. Tirantes Monobarra. **CPB Concreto Projetado do Brasil**, 2020. Disponível em: <<http://www.concretoprojetado.com.br/tirantes-rocsolo/tirantes-monobarra/>>. Acesso em: 17 set. 2020.
- DNIT. **Pavimentação–Misturas asfálticas –Determinação da densidade relativa máxima medidae da massa específica máxima medidaem amostras não compactadas–Método de ensaio**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Brasília, p. 10. 2020.
- FEIJÓ, R. L. **Monitoração de uma Escavação Experimental Grampeada em Solo Residual Gnáissico não Saturado**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2007. p. 157.
- GASSEER, G.; GUDEHUS, G. **Soil Nailing — Some Aspects of a New Technique**. Proc.10th Int. Conf. S.M.F.E. Stockholm: [s.n.]. 1981. p. 665-670.
- INCOTEP SISTEMAS DE ANCORAGEM. Tirantes Monobarra. **Tirantes de Barras**, 2020. Disponível em: <<https://www.incotep.com.br/produtos/tirantes-monobarra/>>. Acesso em: 15 out. 2020.
- JOPPERT JÚNIOR, I. **Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. São Paulo: Pini, 2007.
- MAXWELL. PUC-Rio. **vrac.puc-rio**, 2020. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>>. Acesso em: 15 out. 2020.
- NARESI, L. A. entendendo-a-norma-de-tirantes. **Naresi Fundações e Geotecnias**, 2020. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/naresifundacoesgeotecnias/102-entendendo-a-norma-de-tirantes>>. Acesso em: 15 out. 2020.
- PITTA, C. A.; SOUZA, G. J. T. D.; ZIRLIS, A. C. Alguns Detalhes da Pratica de Execução do Solo Grampeado. **Fundações, Obras & Geotécnicas**, São Paulo, v. 4, n. 39, p. 27, Dezembro 2013.

PROTENDIDOS DYWIDAG LTDA. Catálogos Protendidos Dywidag. **Protendidos Dywidag Brasil**, 2020. Disponível em: <<https://www.dywidag.com.br/downloads/catalogos-protendidos-dywidag/>>. Acesso em: 09 out. 2020.

SAES, J. L.; STUCCHI, F. R.; MILITITSKY, J. Concepção de obras de contenção. In: HACHICH, W., et al. **Fundações: teoria e prática**. 2ª. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 517-536.

SERKI FUNDAÇÕES ESPECIAIS. Estacas Injetadas (Raiz). **Serki Fundações Especiais**, 2020. Disponível em: <<http://serki.com.br/servicos/estacas-raiz-e-tirantes/>>. Acesso em: 15 out. 2020.

SILVA, H. O. W. D. **Tirantes em estruturas de contenção de solo: diretrizes para projeto e execução**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia Civil. Porto Alegre, p. 132. 2015.

SOLOTRAT. Solo Grampeado. **Solotrat**, 2020. Disponível em: <<http://www.solotrat.com.br/informacoes-tecnicas>>. Acesso em: 15 out. 2020.

STOCKER, M. et al. **Soil Nailing**. C.R. Coll. Intern Renforcement des sols. Paris: [s.n.]. 1979. p. 469-474.

TALUS ENGENHARIA. Solo Grampeado. **Talus Engenharia**, 2020. Disponível em: <<http://talusengenharia.com.br/>>. Acesso em: 15 out. 2020.

TEIXEIRA, I. J. R. **Estudo comparativo de duas alternativas para contenção de taludes verticais: solo grampeado e cortina atirantada**. Trabalho de Conclusão de Curso: Engenharia Civil-Universidade Federal de Feira de Santana (Departamento de Tecnologia). Feira de Santana: [s.n.]. 2011.

UFSC. Portal Virtuhab. **O Portal VirtuHab – Soluções Integradas**, 2020. Disponível em: <<https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/>>. Acesso em: 29 out. 2020.

XANTHAKOS, P. P. **Ground Anchors and Anchored Structures**. Washington, D.C.: John Wiley & Sons, Inc, 1991. ISBN 9780471525202. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470172780>>. Acesso em: 15 out. 2020.

ZIRLIS, A. C.; PITTA, C. A. **Soil nailing: chumbamento de solos: experiência de uma equipe na aplicação do método**. Cobrae Conf. Brasileira de Encostas. Rio de Janeiro: ABMS. 1992. p. 81-99.