

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Instituto de Geociências

**APLICAÇÃO DE TIRANTES EM OBRAS DE CONTENÇÃO DE TALUDES: ASPECTOS  
CONCEITUAIS DE PROJETO E DE MÉTODOS CONSTRUTIVOS**

Monografia

TF-21/15

Aluno: Guilherme de Oliveira Iasco Pereira

Orientador: Prof. Dr. Pedro Wellington Gonçalves do Nascimento Teixeira

São Paulo

2021

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Geociências

**APLICAÇÃO DE TIRANTES EM OBRAS DE CONTENÇÃO DE TALUDES: ASPECTOS  
CONCEITUAIS DE PROJETO E DE MÉTODOS CONSTRUTIVOS**

**GUILHERME DE OLIVEIRA IASCO PEREIRA**

Monografia apresentada ao  
Instituto de Geociências (IGc-USP)  
para obtenção do título de  
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Wellington Gonçalves do Nascimento Teixeira

São Paulo

2021

## RESUMO

O avanço da construção civil leva a um aumento cada vez maior da complexidade das obras realizadas no Brasil. Exigindo que o setor geotécnico tenha a constante demanda de profissionais qualificados, produções de novos materiais e soluções para os mais diversos cenários. Principalmente quando se tratam de obras de contenções, uma vez que existe esta necessidade em praticamente todos os setores da construção civil. Uma das principais soluções de contenção existente é a utilização de um elemento linear conhecido como tirante, feito de aço e capaz de transmitir esforços de tração entre suas extremidades. Os tirantes são constituídos por cabeça, responsável por suportar a estrutura, trecho livre, responsável por ligar a cabeça ao trecho ancorado e o trecho ancorado, que por sua vez é responsável transmitir esforços do tirante para o terreno. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar aspectos conceituais gerais de tirantes ancorados para contenção de taludes e estudar a aplicação destes sistemas através da análise de dados de três casos reais acompanhados em programa de estágio pela empresa CAP ENGENHARIA E GEOTECNIA LTDA, com ênfase na descrição das etapas de cada processo, dos materiais utilizados e dos quantitativos utilizados em cada caso. Iniciou-se o estudo com uma abordagem geral da bibliografia existente, com descrição das investigações geotécnicas para sondagens à percussão (SPT) e sondagens rotativas. Continuada por uma apresentação histórica dos primeiros registros, a partir do século XIX, de aplicação de tirantes e também da situação histórica do Brasil neste tema. A revisão bibliográfica é seguida por uma abordagem técnica que leva em consideração os elementos estruturais constituintes dos tirantes, suas classificações conforme a vida útil, forma de trabalho, constituição e sistema de injeção, sua metodologia executiva, abordando o projeto, a execução, os ensaios de qualificação e recebimento e sua incorporação de carga, além de vantagens e desvantagens de seu uso. Dos três casos acompanhados, dois deles são no estado de São Paulo para contenção de corte de talude abaixo da altura da rodovia e outro caso no estado de Minas Gerais, para contenção de talude para construção de um prédio residencial. Em todos os casos foram abordados contexto geológico regional, investigações geotécnicas, características do sistema de contenção empregado e ensaios de qualificação e recebimento executados. No desenvolvimento deste trabalho, foram identificadas diversas semelhanças nas execuções dos projetos. Parte destas semelhanças ocorre por conta de padronizações existentes no mercado de fornecedores e de definições estabelecidas pelas normas e outra parte ocorre por conta do grande êxito de aplicações geotécnicas, mesmo nos mais diferentes tipos de solo e maciços rochosos.

Palavras chaves: Geologia; engenharia geológica; geotecnica; contenções; tirante; ancoragem; sondagem; drenagem.

## ABSTRACT

The advancement of civil construction leads to an increase in the complexity of the constructions carried out in Brazil. Demanding that the geotechnical sector has a constant demand for qualified professionals, production of new materials and solutions for the most different scenarios. Principally when it comes to containment constructions, since this need exists in practically all sectors of civil construction. One of the main containment solutions is the use of a linear element known as a ground anchor, made of steel and capable of transmitting traction efforts between its ends. The ground anchor rods are made up of head, responsible for supporting the structure, free section, responsible for connecting the head to the anchored section and the anchored section, which is responsible for transmitting efforts from the anchor to the ground. In this context, the present work aimed to present conceptual aspects of execution, verification and evaluation of ground anchored to contain slopes and to study the application of these systems through the analysis of data from three real cases accompanied in an internship program by the company CAP ENGENHARIA E GEOTECNIA LTDA, with emphasis on the description of the steps of each process, the materials used and the quantities used in each case. The study began with a general approach to the literature, describing geotechnical investigations for standard penetration tests (SPT) and rock core drilling. Continued by a historical presentation of the first records, from the 19th century, of the application of ground anchors and also of the historical situation of Brazil in this subject. The literature review is followed by a technical approach that takes into account the structural elements of the ground anchors, their classifications according to their useful life, kind of work, constitution and injection system, their executive methodology, approaching the Project, the execution, qualification tests and incorporation cargo, in addition to the advantages and disadvantages of its use. Of the three cases followed up, two of them are in the state of São Paulo for containing a slope cut below the height of the highway and another case in the state of Minas Gerais, for containing a slope for the construction of a residential building. In all cases were approached the regional geological context, geotechnical investigations, characteristics of the containment system used and qualification and reception tests carried. In the development of this work, several similarities in the execution of the Project were identified. Part of these similarities is due to existing standards in the supplier Market and definitions established by standards, and another part is due to the great success of geotechnical applications, even in the most different types of soil and rocks.

Keywords: Geology; geotechnics; ground anchors; civil construction; structural; containment construction.

# SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                   | 1  |
| 2. METAS E OBJETIVOS.....                            | 3  |
| 3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....                   | 4  |
| 3.1. Investigaçāo Geotécnica.....                    | 4  |
| 3.1.1. Sondagem e percussão (STP).....               | 5  |
| 3.1.2. Sondagem rotativa.....                        | 7  |
| 3.1.3. Sondagem mista.....                           | 9  |
| 3.2. Histórico de Tirantes.....                      | 10 |
| 3.3. Técnica.....                                    | 11 |
| 3.3.1 . Elementos Estruturais.....                   | 11 |
| 3.3.2. Classificação dos Tirantes.....               | 14 |
| 3.3.2.1. Quanto à vida útil.....                     | 14 |
| 3.3.2.2. Quanto à forma de trabalho.....             | 15 |
| 3.3.2.3. Quanto à constituição.....                  | 15 |
| 3.3.2.4. Quanto ao sistema de injeção.....           | 16 |
| 3.3.3. Metodologia executiva.....                    | 17 |
| 3.3.3.1. Projeto do tirante.....                     | 18 |
| 3.3.3.2. Execução.....                               | 18 |
| 3.3.3.3. Ensaios de qualificação e recebimento.....  | 19 |
| 3.3.3.4. Incorporação da carga.....                  | 19 |
| 3.4. Vantagens e Desvantagens do Uso do Tirante..... | 19 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS.....                          | 20 |
| 5. RESULTADOS OBTIDOS.....                           | 21 |
| 5.1. Introdução dos Resultados.....                  | 22 |
| 5.2. Localização das Áreas.....                      | 22 |

|   |    |
|---|----|
| 5.3. Taubaté (SP-125).....                                    | 23 |
| 5.3.1. Contexto geológico regional.....                       | 23 |
| 5.3.2. Investigação geotécnica.....                           | 25 |
| 5.3.3. Características do sistema de contenção empregado..... | 30 |
| 5.3.4. Protensão.....   | 35 |
| 5.4. Guaratinguetá (SP-171).....                              | 35 |
| 5.4.1. Contexto geológico regional.....                       | 35 |
| 5.4.2. Investigação geotécnica.....                           | 36 |
| 5.4.3. Características do sistema de contenção empregado..... | 42 |
| 5.4.4. Protensão.....   | 42 |
| 5.5. Varginha (MG).....                                       | 42 |
| 5.5.1. Contexto geológico regional.....                       | 42 |
| 5.5.2. Investigação geotécnica.....                           | 45 |
| 5.5.3. Características do sistema de contenção empregado..... | 49 |
| 5.5.4. Protensão.....   | 53 |
| 6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....              | 54 |
| 6.1. Características Gerais das Obras Analisadas.....         | 56 |
| 6.2. Estudo Preliminar e Planejamento de Projetos.....        | 56 |
| 6.3. Características das Estruturas de Contenção.....         | 57 |
| 7. CONCLUSÕES.....  | 58 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                            | 60 |



## 1. INTRODUÇÃO

Um fenômeno muito frequente no Brasil é o de escorregamento de encostas e taludes de aterro, principalmente em períodos de chuva. Para contenção destes deslizamentos, uma das técnicas desenvolvidas é a de ancoragem em solo (Figura 1) que se baseia na utilização de elementos resistentes à tração no terreno conhecido como tirantes.

A utilização desta técnica é recente, com as primeiras aplicações no Brasil realizadas apenas em 1957, segundo Costa Nunes. Com grande desenvolvimento após as chuvas catastróficas no Rio de Janeiro em 1966 e 1967, permitindo aplicações de ancoragens em diversas encostas e estradas, para contenção de taludes e do início da construção dos metrôs em São Paulo e Rio de Janeiro na década de 1970 (Yassuda et al., 1998).

Em setembro de 1972 elaborou-se a norma brasileira de ancoragens, baseada na tradução da norma alemã DIN 4125. Em 1975, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) editou a ABNT NB 565:1972, que se tornou ABNT NBR 5629:1977, com última atualização como ABNT NBR 5629:2018.

De acordo com a ABNT NBR5629:2018, tirante é um 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. Sendo a cabeça do tirante um dispositivo de transferência de carga do tirante, o trecho livre a distância entre o ponto de aplicação da carga até o início do comprimento ancorado, e o trecho ancorado o comprimento do trecho do tirante, projetado para transmitir a carga aplicada ao terreno.



Figura 1 - Fotografia de cortina atirantada utilizada para contenção em rodovia. (Extraído de relatório fotográfico disponibilizado pela ERCAN Construtora).

Segundo Xantakos (1991), a capacidade de carga de um tirante é gerada como uma reação de resistência causada pelo estresse do solo ao longo da zona em que os tirantes foram aplicados. Os tirantes são dispositivos estruturais instalados em perfurações em solos ou rochas envolvendo complexos procedimentos, que vão desde a escolha do maquinário para perfuração, material que compõe o tirante, montagem do tirante, perfuração, injeção de cimento, tensionamento e ensaio de ancoragem.

## 2. METAS E OBJETIVOS

Este projeto possui como objetivos apresentar os aspectos conceituais da execução, verificação e avaliação de tirantes ancorados para contenção de taludes em rochas ou em solos, para que suportem altas cargas de tração. Assim como os métodos construtivos para sua realização, com exemplos de casos e suas respectivas soluções.

Para isso, são fornecidos os estudos preliminares disponíveis, de cada caso estudado, para auxiliar no desenvolvimento dos projetos de contenções com o uso de tirantes e assim, apresentar quais os critérios empregados na definição destes estudos preliminares e quais conclusões são possíveis com estes resultados.

Além dos estudos preliminares, também são apresentados os quantitativos de cada contenção como quantidade de tirantes, carga de trabalho, características geométricas e mecânicas dos tirantes, inclinação, diâmetro, comprimento e tipo de material. Com isso é possível relacionar a revisão bibliográfica com os casos estudados e apresentar aspectos de semelhança e diferença das execuções.

### 3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

#### 3.1. Investigação Geotécnica

Para elaborar projetos geotécnicos, principalmente de contenções, é fundamental que haja um reconhecimento adequado dos solos. É necessário a realização de uma análise preliminar para identificação e classificação das diversas camadas componentes do substrato a ser analisado, assim como avaliação das suas propriedades físicas e mecânicas (Yassuda et al., 1998).

A análise preliminar de identificação e classificação dos substratos é realizada através da execução de ensaios, em sua maioria realizados em campo. Entre os ensaios de campo existentes, foram utilizados neste trabalho a “Sondagem à Percussão” ou “*Standart Penetration Test (SPT)*” para análise de solos e “Sondagem Rotativa” para análise de rochas.

O conhecimento das propriedades geotécnicas do local de aplicação é fundamental para o sucesso da execução. Portanto é necessário realizar estes estudos com o intuito de caracterizar e estimar as propriedades da rocha ou do solo, para que seja possível uma real análise da estabilidade dos maciços tendo em vista um melhor dimensionamento das contenções.

##### 3.1.1. Sondagem a percussão (SPT)

As sondagens à percussão ou “*Standart Penetration Test (SPT)*” (Figura 2) realizadas no Brasil seguem a norma NBR 6484 criada pela Associação Brasileira de Normas (ABNT), tendo sua última atualização em 2020.

Esta norma define de maneira específica o método de execução de sondagens de simples reconhecimento de solos com ensaio SPT. Este ensaio tem por finalidade descrever os tipos de solos e suas respectivas profundidades; indicação da posição do nível d’água no furo durante a execução da sondagem e o índice de resistência à penetração N a cada metro. Onde N é definido como “índice de resistência à penetração no solo determinado pelo número de golpes correspondentes à cravação de 30 cm do amostrador-padrão, após a cravação inicial de 15 cm, utilizando-se martelo de 65 kg de massa” ABNT (NBR6484, 2020) (Figura 3).

O princípio deste método consiste na perfuração e cravação dinâmica de um amostrador-padrão (Figura 3), onde é possível determinar o tipo de solo e um índice de resistência, a cada metro. Com estes dados coletados em campo, é possível elaborar um perfil geológico-geotécnico de cada sondagem contendo: granulometria, cor, origem e resistência definida através da Tabela 1.



Figura 2 - Execução de sondagem à percussão com destaque para martelo de 65kg no centro. Extraído de: <https://reforsonda.com.br/o-criterio-de-paralisação-das-sondagens-a-percussão-spt/>

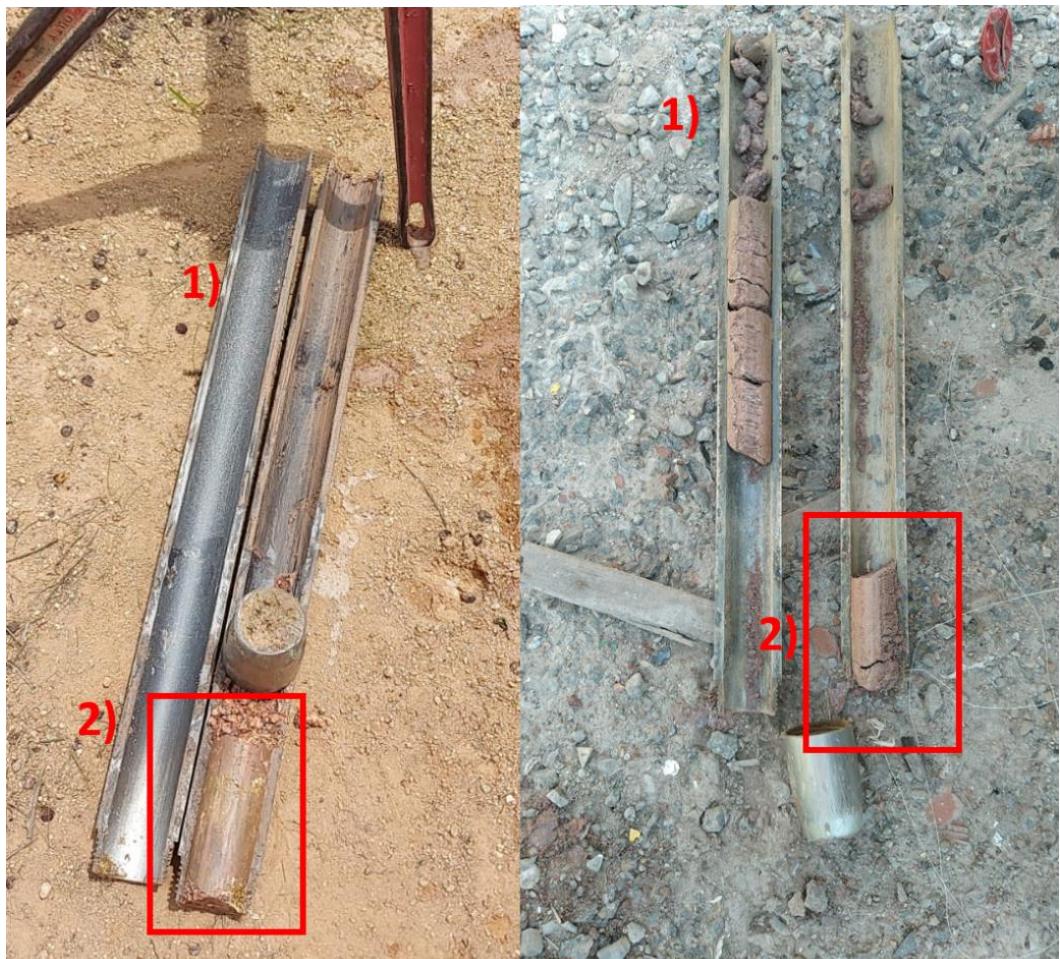


Figura 3 - 1) Amostrador-padrão com destaque para 2) Amostra coletada para descrição. Fotos tiradas durante campanha de sondagem à percussão.

Tabela 1 - Estado de compacidade e consistência de acordo com o tipo de solo e da resistência à penetração (N). Extraído de ABNT (NBR6484, 2020).

| Solo                       | Índice de resistência à penetração<br><i>N</i> | Designação <sup>a</sup>  |
|----------------------------|--|--------------------------|
| Areias e siltos arenosos   | ≤ 4  | Fofa(o)                  |
|                            | 5 a 8  | Pouco compacta(o)        |
|                            | 9 a 18   | Medianamente compacta(o) |
|                            | 19 a 40  | Compacta(o)              |
|                            | > 40   | Muito compacta(o)        |
| Argilas e siltos argilosos | ≤ 2  | Muito mole               |
|                            | 3 a 5  | Mole                     |
|                            | 6 a 10   | Média(o)                 |
|                            | 11 a 19  | Rija(o)                  |
|                            | 20 a 30  | Muito rija(o)            |
|                            | > 30   | Dura(o)                  |

<sup>a</sup> As expressões empregadas para a designação da compacidade das areias (fofa, compacta etc.) são referências à deformabilidade e à resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não podem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compacidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na mecânica dos solos.

Fonte: ABNT (NBR6484, 2020).

### 3.1.2. Sondagem rotativa

Quando se trata de sondagens rotativas no Brasil, nota-se que não há uma norma brasileira relacionada ao tema. São utilizadas recomendações do “Manual de Sondagens” da ABGE (Associação Brasileira de Geologia e Engenharia) com última edição em 2013.

Segundo a ABGE (2013), sondagem rotativa pode ser definida como um método de investigação baseado no uso de um conjunto motomecanizado destinado à perfuração de maciços rochosos e obtenção de amostras de rochas com formato cilíndrico, conhecidas como testemunho.

Com a coleta destes testemunhos (Figura 4) é possível realizar algumas classificações propostas pela International Society of Rock Mechanics (ISRM, 2007) que levam em consideração algumas características que afetam o comportamento geotécnico dos maciços rochosos como: orientação, espaçamento, rugosidade, persistência, preenchimento, abertura e infiltração. Para estas classificações são utilizados os parâmetros: grau de alteração, grau de fraturamento, atitude das fraturas, grau de coesão e grau de alteração das fraturas.

## FOTO - SONDAGEM SM-02

### CAIXA ÚNICA



Figura 4 - Caixa de testemunhos de sondagem rotativa realizada em Varginha / MG. Extraído de Relatório de Sondagem - Varginha / MG

Na Figura 5, é possível identificar tabelas de classificações propostas pela ISRM (2007) utilizadas para definição do maciço rochoso em sondagens rotativas. As tabelas levam em consideração a alteração geral da rocha (A1, A2, A3 e A4), a coesão (C1, C2, C3 e C4), estado de alteração das paredes e fraturas (D1, D2, D3, D4 e D5), quantidade de fraturas (F1, F2, F3, F4 e F5) e atitude das fraturas (H, V, 30° e na direção da foliação).

| ROCHA                 | SIGLA | CARACTERÍSTICAS   | ROCHA            | SIGLA | CARACTERÍSTICAS  |
|-----------------------|-------|---|------------------|-------|--|
| SÃ                    | A1    | macroscopicamente não há indícios de alterações físicas e/ou químicas dos minerais; minerais apresentam brilho; | COERENTE         | C1    | quebra com dificuldade ao golpe do martelo produzindo poucos fragmentos de bordas cortantes; superfície dificilmente riscável por lâmina de aço; |
| POUCO ALTERADA        | A2    | alteração incipiente dos materiais; em geral, a rocha exibe pouca descoloração;                                 | MEDIAN. COERENTE | C2    | quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo, produzindo fragmentos com bordas quebradiças por pressão dos dedos, superfície               |
| MEDIANAMENTE ALTERADA | A3    | minerais medianamente alterados, geralmente não apresentam brilho; rocha bastante descolorida;                  | POUCO COERENTE   | C3    | minerais medianamente alterados, geralmente não apresentam brilho; rocha bastante descolorida;   |
| MUITO ALTERADA        | A4    | minerais muito alterados, por vezes pulverulentos, friáveis, totalmente sem brilho;                             | INCOERENTE       | C4    | minerais muito alterados, por vezes pulverulentos, friáveis, totalmente sem brilho;  |

| SIGLA | CARACTERÍSTICAS  |
|-------|--|
| D1    | contato rocha x rocha com paredes sãs, ausência de oxidação e preenchimento;   |
| D2    | paredes sãs, revestidas com materiais ríjos (carbonato, zéolita, sílica, etc);   |
| D3    | contato rocha x rocha com paredes praticamente sãs (ou com alteração incipiente), e/ou pouco oxidadas, sem preenchimento;                |
| D4    | contato rocha x rocha com paredes alteradas e/ou oxidadas, pode conter preenchimento milimétrico de argila, areia, óxido de Fe, Mg, etc; |
| D5    | paredes alteradas e oxidadas, com preenchimento de espessura centimétrica a decimétrica;   |

| SIGLA | FRATURAS / m | TERMO DESCRIPTIVO         |
|-------|--------------|---------------------------|
| F1    | < 2          | ocasionalmente fraturada; |
| F2    | 2 - 5        | pouco fraturada;          |
| F3    | 6 - 10       | medianamente fraturada;   |
| F4    | 11 - 19      | muito fraturada;          |
| F5    | > 30         | extremamente fraturada;   |

| ATITUDE DAS FRATURAS |  |
|----------------------|--|
| H                    | horizontal / subhorizontal               |
| V                    | vertical / subvertical                   |
| 30°                  | inclinação da fratura em rel. horizontal |
|                      | inclinação da foliação                   |

Figura 5 - Tabelas de classificação de maciço rochoso segundo ISRM (2007).

Deere (1989) propôs um sistema de classificação de rochas denominado *Rock Quality Designation* (RQD) para descrever a qualidade do maciço rochoso. Este método é fundamentado na porcentagem de recuperação de testemunhos, levando em consideração apenas as partes acima de 10cm de comprimento. A soma dessas partes dividida pelo tamanho total resulta no valor RQD. Com isso é possível quantificar a qualidade das rochas (Tabela 2) através dos testemunhos de sondagens por meio de medidas indiretas das descontinuidades.

Tabela 2 - Classificação da qualidade do maciço rochoso a partir do RQD.

| RQD       | Qualidade do maciço rochoso |
|-----------|-----------------------------|
| 0 - 25%   | muito fraco                 |
| 26 - 50%  | fraco                       |
| 51 - 75%  | razoável                    |
| 75 - 90%  | bom                         |
| 91 - 100% | excelente                   |

Fonte: Deere, 1989

### 3.1.3. Sondagem mista

A sondagem mista é a utilização da sondagem à percussão, para o trecho em solo, e da sondagem rotativa, para o trecho em rocha. Os procedimentos de aplicação são os mesmos descritos nos itens 3.1.1. e 3.1.2. A transição da sondagem à percussão para a

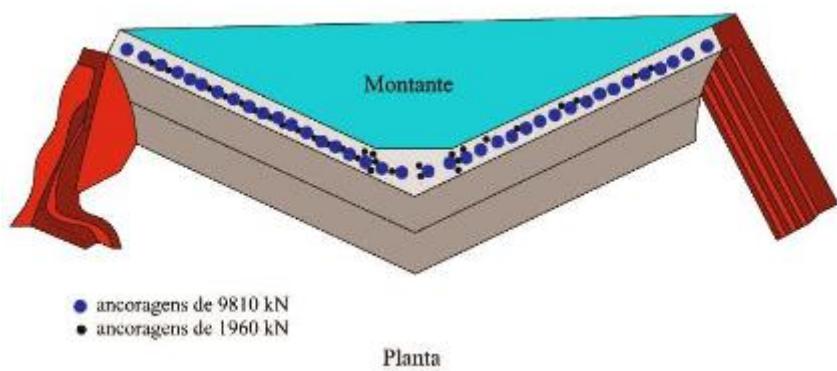
sondagem rotativa é feita ao se atingir o impenetrável ao SPT sem utilização do método de lavagem para avanço da perfuração (ABGE, 2013).

### 3.2. Histórico de Tirantes

Segundo Xantakos (1991), a origem dos tirantes é registrada a partir do final do século XIX, onde Frazer, em 1874, descreveu testes em ancoragens de ferro forjado para apoio de uma margem de canal ao longo da ferrovia Londres-Birmingham. Em 1900, Anderson documentou o uso de estacas de aço para restringir lajes de piso contra a flutuação.

Uma das mais antigas e impressionantes aplicações realizadas, descrita por Xantakos (1991), foi o reforço da barragem de Cheurfas, na Argélia, realizada por Coyne em 1934. A estrutura inicial foi construída com materiais de alvenaria convencionais em 1880, mas foi parcialmente destruída em 1885 após uma inundação grave. Em 1892, a barragem foi reconstruída, porém no início da década de 1930 apresentava sinais de instabilidade nas fundações. A integridade estrutural foi restaurada pelo uso de tirantes verticais colocados em intervalos de 3,5 metros com capacidade de 1000 toneladas, tensionados por macacos hidráulicos entre o topo da barragem e a parte inferior da cabeça do cabo. A tensão é transferida para um arenito que se encontra aproximadamente 15 metros abaixo da base da barragem, como representado na Figura 6.

a)



b)

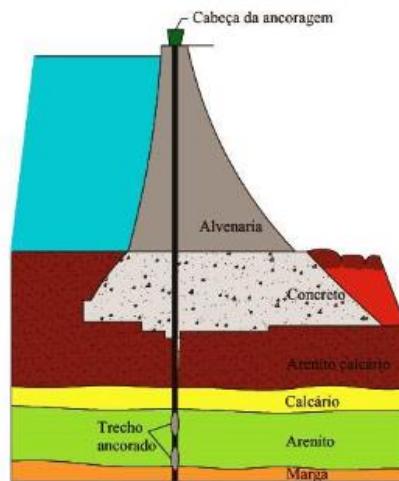


Figura 6 - Barragem de Cheurfas, Argéria. (a) planta geral; (b) seção da estrutura principal indicando tirante vertical; (Adaptado de Xantakos, 1991 e extraído de Vasconcelos, 2016).

Seguindo a demonstração de Coyne, a fabricação de fio de aço de alta resistência juntamente com melhorias no método de cimentação e perfuração, levaram, após a segunda guerra mundial, ao desenvolvimento de tirantes terrestres principalmente na França, Alemanha, Suécia e Suíça, e posteriormente, na Inglaterra. Na década de 1950, os tirantes foram utilizados pela primeira vez para apoiar escavações profundas.

No Brasil, o uso de tirantes tem início no fim de 1957, com fortes aplicações em obras de contenção em Copacabana e nas estradas Rio-Teresópolis e Grajaú-Jacarepaguá, com

grande avanço e desenvolvimento das técnicas no Rio de Janeiro após as chuvas catastróficas de 1966 e 1967.

### 3.3. Técnica

#### 3.3.1. Elementos estruturais

Os tirantes são elementos de tração que permitem a transferência de carga de uma face estrutural para o solo. O terreno específico onde a transferência de carga será realizada, necessita de prévia investigação do solo através de trabalhos de levantamento de dados, para direcionamento do processo preliminar de projeto de tirante. A transferência de carga para um determinado estrato de solo ou rocha torna o uso do tirante diferente de sistemas como chumbadores em solo grampeado. Tirantes são comumente utilizados para apoiar estruturas de retenção, resistir a grandes cargas, esquemas de estabilidade e contenção de taludes e melhorar a estabilidade de fácies de rochas (Burland, 2012).

O esforço de compressão aplicado no terreno é realizado externamente na cabeça do tirante e transferido para o bulbo através do trecho livre. Uma vez que o atrito tolerado no trecho livre é limitado, praticamente toda a carga é efetivamente transmitida ao bulbo. O material utilizado para transmissão dos esforços necessita ser resistente à tração, onde é utilizado aço.

De acordo com Yassuda et al. (1998) e com a norma brasileira ABNT (NBR5629, 2018), os elementos estruturais associados à instalação de tirantes são:

- Cabeça: parte do tirante com finalidade de suportar a estrutura. Composta, geralmente, por placa de apoio, cunha de grau e bloco de ancoragem (Figura 7).

A placa de apoio tem a função de distribuir as tensões sobre o restante da estrutura e é constituída, normalmente, chapas metálicas. Seu dimensionamento deve levar em consideração os esforços aplicados no ensaio de ancoragem, que seriam de curta duração.

A cunha de grau é um elemento utilizado para dar alinhamento adequado ao eixo do tirante em relação à cabeça. Os aços usados em tirantes possuem, em geral, alta resistência à tração e resistência limitada a flexão. Assim, o bloco de ancoragem que fixa a extremidade do tirante deve ficar o mais próximo de 90 graus em relação ao eixo longitudinal do tirante. Existem cunhas de grau dos mais variados formatos, sendo o mais frequente composto por um cilindro de aço ou chapas paralelas de aço. Menos frequentemente, são utilizados prisma de groute ou de concreto armado.

O bloco de ancoragem, segundo definição da ABNT (NBR5629, 2018), é a porção responsável por prender o elemento tracionado na região da cabeça. Em geral, são vistos três tipos principais: porca, clavetes e botões.

As porcas são utilizadas em tirantes de barras com roscas, assim, para prender o tirante, basta rosquear a porca e a contra porca. Os clavetes são utilizados em tirantes com múltiplos fios ou cordoalhas, formados por 3 partes, que juntas se tornam um tronco cônico com um furo cilíndrico no centro (Figura 7). A parte cilíndrica central tem sua superfície denteada, com função de agarrar firmemente o fio ou a cordoalha que passa por ela. Os botões são utilizados como alternativa para prender os fios junto à cabeça, onde a ponta de cada fio é prensada em um macaco apropriado para formar um bulbo com diâmetro maior que o do fio.



Figura 7 - Elementos da cabeça de tirante monobarra: (1) Placa de apoio, (2) Cunha de grau, (3) Bloco de ancoragem contendo porca e contra porca. Foto tirada em Varginha a serviço da CAP ENGENHARIA E GEOTECNIA.

Trecho livre: este trecho é protegido por um tubo ou uma mangueira (Figura 8) cuja região receberá sua injeção em operação independente da execução do bulbo e da bainha, com calda de cimento, garantindo a aprovação nos ensaios e proporcionando proteção contra corrosão. Assim, o trecho livre deve ser isolado da calda de injeção.

Trecho ancorado: é constituído por um aglutinante que envolve o aço e se encarrega de transmitir os esforços do tirante para o terreno (Figura 8). Em teoria, há duas maneiras de se trabalhar com eles: através da compressão, onde a transferência de cargas do aço para o aglutinante ocorre da extremidade mais profunda em direção ao trecho livre, ou através da

tração, onde a transferência de cargas ocorre do fim do trecho livre em direção a extremidade mais profunda.



Figura 8 - Montagem de tirantes contendo: (1) Trecho livre protegido por mangueira, (2) Trecho ancorado contendo espaçadores de plástico. Foto tirada em Varginha a serviço da CAP ENGENHARIA E GEOCTENIA.

Ou seja, quando o trabalho é realizado por meio da compressão, o aço fica livre mesmo no trecho ancorado, e quando o trabalho é realizado por meio da tração, o aço adere ao aglutinante. No Brasil a utilização se restringe apenas à trabalhos de tração e o uso do aglutinante mais comum é o cimento, injetado sob forma de calda de cimento, formado por água e cimento.

### 3.3.2. Classificação dos tirantes

Existem diversas subdivisões em se tratando de tipos de tirantes. Yassuda et al. (1998) procurou agrupá-las em função de sua vida útil, sua forma de trabalho, sua constituição e seu sistema de injeção.

#### 3.3.2.1. Quanto à vida útil

Os tirantes podem ser divididos em temporários (curto prazo) e permanentes (longo prazo). No primeiro caso, os tirantes possuem durabilidade limitada onde seus dispositivos possuem natureza temporária e se tornarão inúteis ou inoperantes a partir de uma determinada fase do programa de execução do projeto, independentemente do intervalo de tempo entre sua instalação e a fase em que se tornam desnecessárias. O segundo caso, constituem dispositivos com longa durabilidade que manterão a estabilidade do projeto de forma permanente e que necessitam de arranjo e proteção dos componentes do sistema, de maneira que seja evitada o desgaste e corrosão dos materiais (Xantakos, 1991).

Segundo a norma brasileira ABNT (NBR5629, 2018), a especificação para tirantes temporários seria para obras de até dois anos de duração.

### 3.3.2.2. *Quanto à forma de trabalho*

Os tirantes podem ser classificados em ativos ou passivos. Sendo ativos aqueles submetidos à cargas para trabalhar, ou seja, pretendido desde o início de trabalho. E passivos, aqueles que não são colocados em carga no início de sua vida, portanto não são pretendidos.

O chumbador é uma variação de tirante passivo, instalado sem protensão, muitas vezes pelo sistema de solo grampeado, no qual a carga começa a atuar no tirante apenas quando o maciço ou o solo em que está ancorado induzir esforços, agindo apenas quando a estrutura solicitar (Yassuda et al., 1998).

### 3.3.2.3. *Quanto à constituição*

Segundo Yassuda et al. (1998), a constituição do elemento principal geralmente é o aço, por conta da sua resistência à tração, podendo ser formado por barras de aço, fios de aço ou cordoalhas.

Tirante monobarra:

Neste caso, é utilizado uma única barra de aço como elemento principal do tirante, onde, atualmente, usa-se aços especiais com mossas em forma de filetes que servem como roscas, permitindo a emenda com luvas e a fixação da porca junto à cabeça.

No trecho ancorado, o tirante monobarra recebe espaçadores a cada 2 ou 3 metros com a finalidade de manter a barra de aço no centro do furo (Figura 9). Os espaçadores podem ser feitos de anel plástico ou nervuras de plástico com formato meia lua.

No trecho livre, há uma bainha externa feita de tubo de PVC ou uma mangueira com diâmetro levemente acima do aço, no qual é preenchida por calda de cimento, garantindo a proteção contra corrosão (Figura 8).

A cabeça do tirante monobarra é constituída pelas peças descritas em “Elementos estruturais”, sendo o bloco de ancoragem constituído por porca e cela para porca (Figura 8).

O trecho ancorado possui a cauda de cimento injetada debaixo para cima, com utilização de um sistema auxiliar de injeção, podendo ser através de mangueira fina com válvulas localizadas ou de tubo “manchete” (Figura 9).

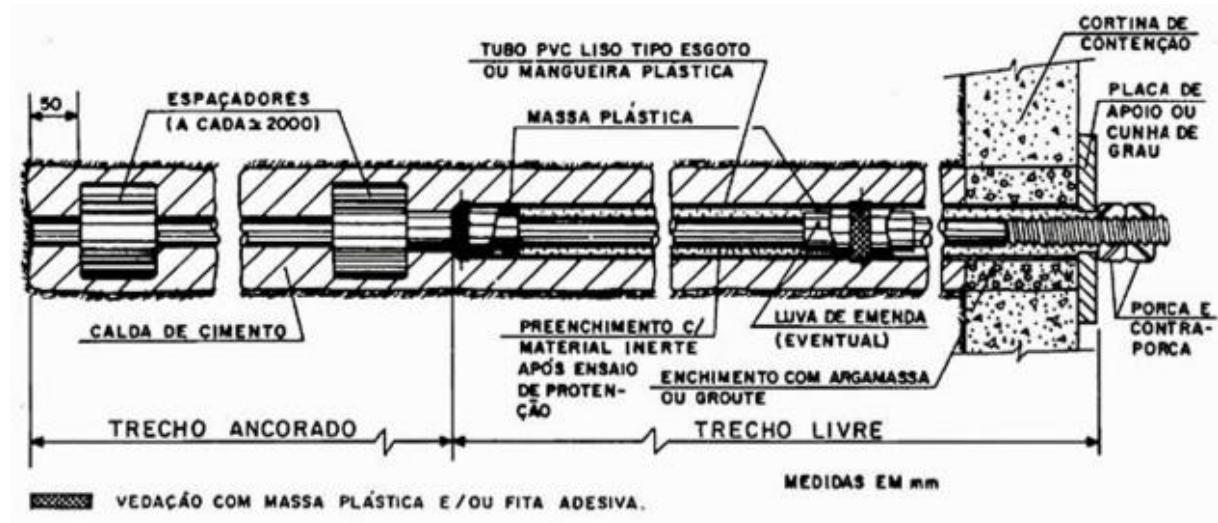


Figura 9 - Tirante monobarra típico. (Extraído de Yassuda et al., 1998).

#### Tirante de múltiplas barras

O uso deste tipo de tirante é pouco frequente no Brasil, e é composto por mais de uma barra resistente à tração. O funcionamento deste tipo de tirante é semelhante ao tirante de fios ou cordoalhas, sendo a principal diferença com relação ao bloco de ancoragem, no qual o tirante com múltiplas barras requer um bloco auxiliar com um sistema de rosas e porcas para permitir a protensão e incorporação de carga.

#### Tirante de fios

A carga de trabalho aplicada nesse tipo de tirante é proporcional à quantidade de fios utilizados, limitados pelo diâmetro do furo realizado, que deve permitir a formação de um bulbo adequado realizando um bom recobrimento do aço e permitindo injeções em múltiplos estágios (Figura 10).

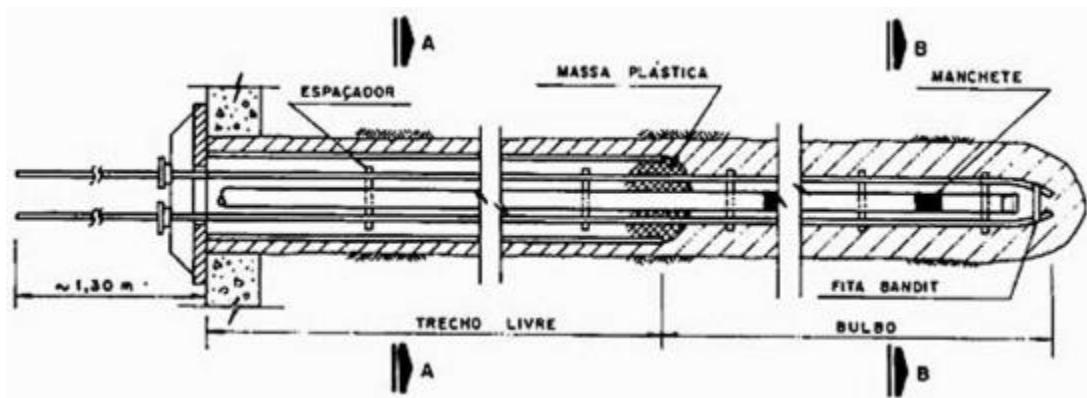


Figura 10 - Tirante de fios. Extraído: Yassuda et al., 1998.

#### Tirante de cordoalhas

Estes tirantes resistem à tração através de cordoalhas de aço usadas em concreto protendido. No Brasil, seu uso é centrado em cordoalhas de 12,7mm de diâmetro, com aço CP 190 RB e são, usualmente, pintadas por toda sua extensão de maneira à evitar corrosão.

O trecho ancorado destes tirantes é semelhante ao tirante de fios, a única diferença está no espaçador utilizado, que para caber a cordoalha, apresenta diâmetro maior que o fio. Espaçadores do tipo engrenagem são muito utilizados (Figura 11).

O trecho livre também é semelhante ao tirante de fios, onde as cordoalhas são envolvidas por uma bainha plástica individual ou coletiva, com suas extremidades vedadas (Figura 11).

A cabeça do tirante exige maiores dimensões das peças em comparação ao uso de fios, que devem ser dimensionados considerando a carga máxima de ensaio e como será feito o apoio do macaco hidráulico durante a protensão. Assim, na cabeça, a cordoalha é, em geral, presa individualmente por clavetes denteados ou por cunhas.

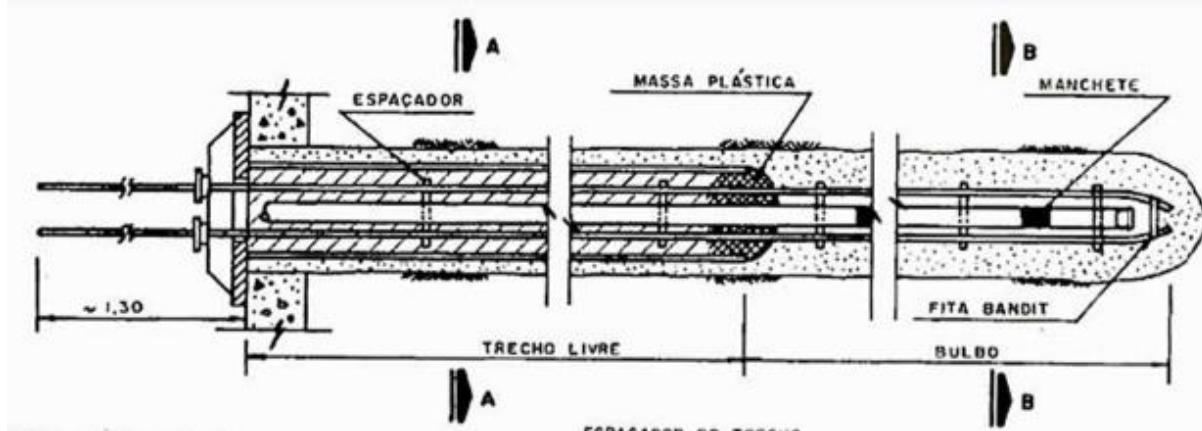


Figura 11 - Tirante de cordoalha. (Extraído: Yassuda et al., 1998).

### 3.3.2.4. *Quanto ao sistema de injeção*

Os tirantes podem ser divididos em dois grupos conforme o sistema de injeção.

Injeção em estágio único:

Procedimento utilizado para casos em que o bulbo se encontra em material de boa capacidade de suporte, como em rochas, onde a aplicação de pressão de injeção não produz nenhuma vantagem, já que praticamente não há alargamento do bulbo. Geralmente utilizado para tirantes de barra que não necessitam aguentar cargas elevadas.

Injeção em estágios múltiplos:

Nesse caso, a injeção é sempre feita em pelo menos dois estágios distintos. O primeiro estágio, conhecido como “bainha”, é executado pelo preenchimento do furo aberto, com injeção de calda a baixa pressão, de baixo para cima, até que a mesma vaze pela boca do furo e expulse as águas presentes sem haver mistura com a calda (Figura 12). Após a interação do cimento da bainha com o solo ou rocha, injeta-se o segundo estágio, conhecido como primário, onde cada válvula é injetada individualmente até se atingir uma pressão desejada ou o volume máximo desejado.



Figura 12 - Injeção do primeiro estágio com vazamento pela boca do furo. Foto tirada em Varginha a serviço da CAP ENGENHARIA E GEOTECNIA.

### 3.3.3. Metodologia executiva

De acordo com as informações disponibilizadas pela ABNT (NBR5629, 2018) para execução de tirantes são necessários seguir os seguintes passos:

#### 3.3.3.1. *Projeto do Tirante*

Para elaboração de projetos de aplicação de tirantes são necessários a apresentação de diversos estudos. Dentre eles: relatório de investigação geológico-geotécnica, levantamento planialtimétrico cadastral, informações relativas aos elementos interferentes, como levantamento de tubulações subterrâneas, fundações já existentes e especificações relativas à implantação dos tirantes ancorados no terreno, interações entre construções próximas e condições referentes à época do projeto com relação à legislação.

Com os dados descritos acima, é possível construir um relatório técnico com as seguintes informações: seções mínimas e características dos materiais de todos os elementos de tração do tirante, comprimento dos trechos livres e ancorados, ângulo de inclinação da perfuração, tolerância das dimensões, cargas de trabalho, de incorporação e máxima de ensaios e locação dos tirantes em vista, corte e planta.

Para realização dos cálculos dos esforços, deve ser levado em consideração a carga máxima que deverá ser suportada durante sua utilização.

Os materiais a serem utilizados devem estar descritos no projeto e são constituídos pelos elementos de tração (quase sempre de aço), aglutinante (tipo de cimento) e calda de cimento para injeção.

#### 3.3.3.2. *Execução*

Antes de se iniciar a etapa de execução em campo, é necessário realizar a verificação se os requisitos para o projeto correspondem com a situação real de campo. Entre as verificações:

Para montagem, o comprimento dos tirantes deve atender às especificações do projeto, além de ter comprimento adicional para ensaios de protensão e carga de trabalho, além de necessitarem de proteção anticorrosiva.

A perfuração deve ser realizada de uma maneira que busque minimizar os efeitos no comportamento das estruturas vizinhas e assegure o alinhamento previsto em projeto e que o furo permaneça aberto até a injeção do aglutinante.

Para instalação deve ser verificado previamente se o comprimento de perfuração indicado no projeto é atendido, se os comprimentos livres e ancorados estão em conformidade com o especificado no projeto, se a proteção anticorrosiva não apresenta falhas na instalação, se os valores de locação indicados no projeto são atendidos e se os dispositivos de fixação da cabeça correspondem às necessidades estruturais.

Em se tratando da colocação do tirante no furo, tirantes provisórios podem ser instalados antes ou após o preenchimento do furo com calda de cimento ou aglutinante. Eles possuem as mesmas características dos permanentes, porém são utilizados em situações de obras em que exercem a função de contenção somente durante algum tempo, isso por conta da logística de execução da obra que gera a necessidade de contenção de certo local somente por tempo limitado.

Para tirantes permanentes a remoção do revestimento deve ser posterior à instalação do tirante e ao preenchimento total do furo com aglutinante.

O furo deve ser preenchido com aglutinante do fundo para boca, e o uso de revestimento deve ocorrer em situações em que as paredes das perfurações não se apresentarem estáveis.

Os dados da perfuração e injeção, como tipo de equipamento, identificação, diâmetro e inclinação do furo, diâmetro e comprimento do revestimento, espessura e tipo de solo das camadas atravessadas, datas de início e término do furo, volume de calda injetado na bainha, tipo de injeção e outros devem ser registrados em boletins técnicos.

#### *3.3.3.3. Ensaios de qualificação e recebimento*

O ensaio de qualificação tem como intuito analisar o comportamento do tirante, atrelado ao ensaio de recebimento, que avalia o desempenho do mesmo através de cargas aplicadas diretamente no tirante, baseadas na aplicação da carga axial de tração e medição dos deslocamentos ocorridos na cabeça do tirante.

Para realização destes ensaios, são utilizados um macaco hidráulico e manômetro, régua para medição de deslocamentos do aço, grade de apoio para o macaco e outros acessórios necessários para distribuição correta da carga.

### 3.3.3.4. Incorporação de Carga

O projeto define a carga de incorporação que deve estar de acordo com as fases de execução e níveis de deslocamentos aceitos. A incorporação só é definitiva após o serviço ser executado e aceito por meio do ensaio de recebimento.

## 3.4. Vantagens e Desvantagens do Uso de Tirantes

O uso de tirante constitui um sistema de contenção versátil que oferecem diversas vantagens para engenharia de solo, como a realização de cargas ativas, levando a maiores dimensionamentos ao calcular a carga de trabalho; a possibilidade de acomodar variações no ambiente, podendo ser posicionado de acordo com as condições do local; também podem complementar o uso do solo e da rocha como matrizes de fundação, suportando, assim, estruturas e taludes; o espaço requerido para instalação de tirantes é o mínimo necessário dentro do local, e após seu tensionamento, não ocorre obstrução para o próximo nível de escavação; (Xantakos, 1991);

Também podem ser pontuadas limitações no uso de tirantes, como sua construção é realizada muitas vezes sub horizontalmente por trás da parede, nota-se um avanço da estrutura em terreno vizinho (Figura 13); quando realizado em terreno argiloso, o bulbo pode realizar deformações no solo por conta da injeção sob pressão, levando a levantamento da superfície; outra limitação prática aos tirantes constituídos por aço é o risco a corrosão, que são comumente mais vistos no trecho livre e na cabeça do tirante; por se tratar de um serviço especializado, este método requer equipe, equipamento, técnica e controle especializados, que devem ser levados em consideração para avaliação do seu custo benefício.



Figura 13 - Modelo de cortina atirantada. Extraído de Solotrat (<http://www.solotrat.com.br/cortinas-atirantadas>).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados levantamentos teóricos por meio de normas técnicas utilizadas como em “*Ground anchors and anchored structures*” (Xantakos, 1991); “*ICE manual of geotechnical engineering*” (Burland, 2012); atreladas a estudos brasileiros, como “Fundações: teoria e prática” (Yassuda et al., 1998) e a norma brasileira para “Execução de tirantes ancorados no terreno” ABNT (NBR5629, 2018).

Nas seguintes etapas, além do estudo detalhado dos conceitos estrangeiros, deu-se ênfase na comparação com as normas existentes e nos estudos de quais procedimentos estão sendo mais utilizados. Esta revisão permitiu esclarecer qual metodologia é mais eficiente para contenção de taludes em cada caso.

A avaliação dos processos executivos e sua eficiência foram analisadas através de ensaios de campo para instalação de tirantes, seguindo a norma técnica brasileira ABNT NBR5629:2018 com acompanhamento de todas as etapas, desde a escolha dos materiais a serem utilizados em cada caso, montagem dos tirantes, perfuração, instalação, preenchimento do furo, injeção, ensaios de qualificação e incorporação de carga.

Os tirantes executados serão avaliados de acordo com suas características e força de tração projetadas, buscando-se assim a comparação de eficiência em cada caso entre as opções adotadas.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

### 5.1. Introdução dos Resultados

O avanço da engenharia geotécnica permite cada vez mais a utilização de estruturas de contenção para as mais diferentes necessidades. É comum o uso de contenções para criação de subsolos para estacionamento, cortes de estrada, aterros, construção de pontes, estabilização de encostas, obras de metrôs, etc (Yassuda et al., 1991).

Neste trabalho serão abordadas aplicações de tirantes para contenção de corte de talude abaixo da rodovia, realizado próximo à cidade de Taubaté - SP; corte de talude abaixo da rodovia, realizado próximo à cidade de Guaratinguetá - SP; e corte de talude para construção de edifício, realizado na cidade de Varginha - MG.

A seguir serão descritos maiores detalhes, que foram disponibilizados por parceiros, de todo processo envolvido na execução destas contenções exercidas à serviço de estágio pela empresa CAP ENGENHARIA E GEOTECNIA LTDA.

### 5.2. Localização das áreas

As contenções foram realizadas na região sudeste do Brasil, na cidade de Varginha, em Minas Gerais, e nas cidades de Taubaté e Guaratinguetá, em São Paulo (Figura 14). No geral, são regiões inseridas em um contexto geológico com influência tectônica, gerando relevos irregulares e bastante accidentados. Características que indicam uma grande necessidade de contenções, principalmente em trechos de rodovia.

É válido ressaltar a importância de uma análise macro para realização destes projetos. Quando atrelados com uma boa revisão bibliográfica de estudos preliminares das características da geologia regional, eventos geológicos e descrição de rochas permitem uma análise muito próxima da realidade, tornando o estudo mais completo e possibilitando melhores desempenhos.



Figura 14 - Mapa das localizações das obras acompanhadas. (Mapa produzido no software Google Earth Pro).

### 5.3. Taubaté (SP-125)

#### 5.3.1. Contexto geológico regional

A área em questão está situada na Bacia de Taubaté, localizada na porção leste do estado de São Paulo, que se apresenta como uma feição comprimida entre as escarpas do Mar e a Serra da Mantiqueira. A bacia sedimentar possui forma alongada, com 170 km de comprimento e aproximadamente 25 km de largura, sendo delimitada pelos municípios de Jacareí, à SW, e Cruzeiro, à NE (Figura 14).

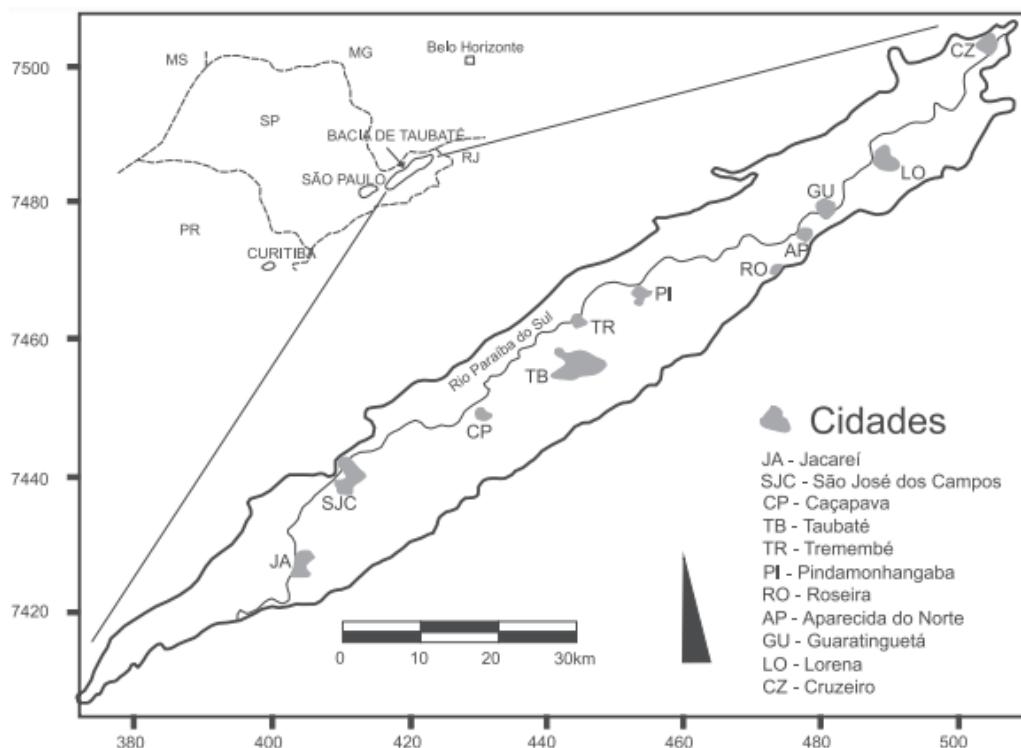


Figura 14 - Mapa de localização da área. Em destaque para Bacia de Taubaté no Estado de São Paulo (Extraído de Carvalho et al. 2011).

Segundo Riccomini (1989), a Bacia de Taubaté faz parte de um conjunto de bacias pertencentes ao Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), sendo uma feição tectônica de idade cenozoica, desenvolvida entre as cidades de Curitiba (PR) e Barra de São João (RJ). O RCSB apresenta direção ENE, sendo uma faixa estreita, deprimida e alongada com mais de 900 km de extensão (Riccomini, 1989).

A Bacia de Taubaté, assim como as bacias de São Paulo e Resende, está localizada na região central do RCSB e possui relação com a tectônica distensiva do paleógeno. Descontinuidades antigas do embasamento, com direção ENE, foram favoráveis para uma tectônica ressurgente que condicionou o formato alongado (Riccomini, 1989).

De acordo com Hasui e Ponçano (1978), a bacia sedimentar assenta-se sobre rochas ígneas e metamórficas do Cinturão de Dobramentos Ribeira, com idades do Paleoproterozóico ao Neoproterozóico. O arcabouço desta bacia é formado por semigrábens separados por zonas de transferências ou de acomodação, apresentando depocentros invertidos, sendo uma geometria típica de bacias do tipo rifte.

Segundo Riccomini (1989), a Bacia de Taubaté apresenta uma sedimentação tipicamente continental, com duas fases de preenchimento: a primeira, sin-tectônica ao rifte, com deposição dos sedimentos do Grupo Taubaté (composto pelas formações Resende, Tremembé e São Paulo) e a segunda, posterior à tectônica diastrófica, com deposição da Formação Pindamonhangaba e depósitos aluviais e coluviais (Figura 15).

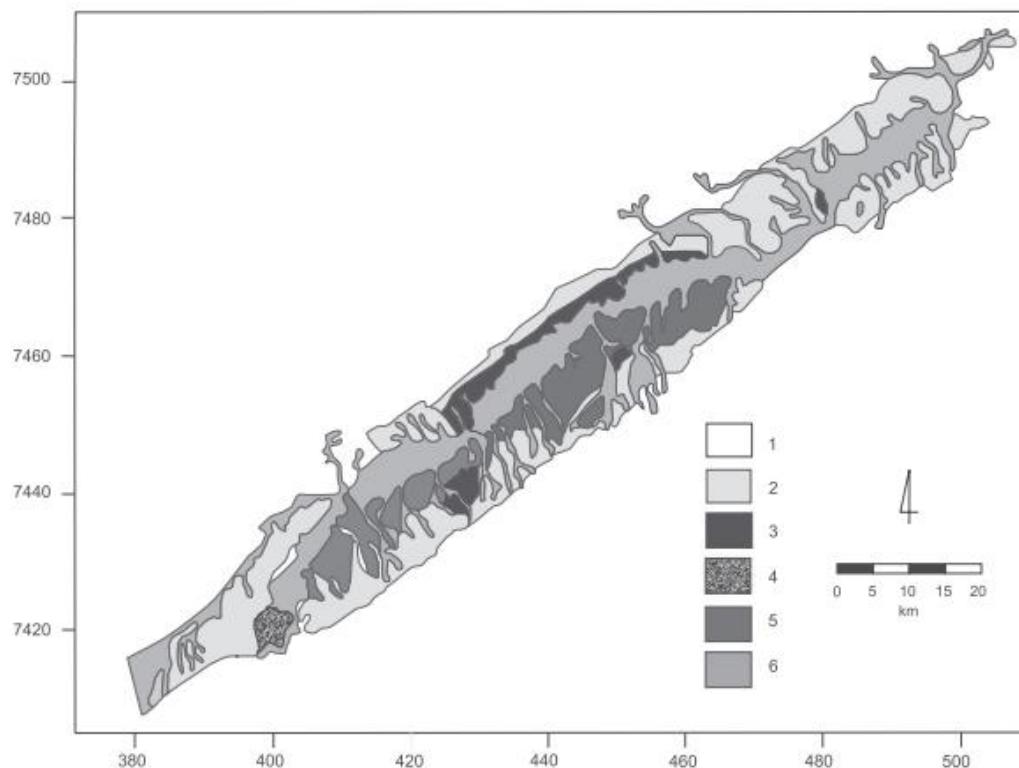


Figura 15 - Mapa geológico esquemático da Bacia de Taubaté. 1. Rochas do embasamento. 2. Formação Resende. 3. Formção Tremembé. 4. Formação São Paulo. 5. Formação Pindamonhangaba. 6. Sedimentos quaternários. Extraído de Carvalho et al. 2011 e modificado de Riccomini, 1989.

Grande parte do pacote sedimentar paleogênico é composto pelos depósitos da Formação Resende. Esta unidade é formada por paraconglomerados e ortoconglomerados nas áreas proximais e lamitos nas porções medianas e distais dos leques aluviais. Composta também por arenitos fluviais em rios entrelaçados (Riccomini, 1989).

Segundo Riccomini (1989), na porção central da Bacia de Taubaté, o sistema de leques aluviais da Formação Resende grada lateral e verticalmente para o sistema lacustre do tipo *playa-lake* da Formação Tremembé. A Formação Tremembé é formada pelas litofácies: argilitos verdes maciços, ritmitos de folhelhos e margas, dolomitos e arenitos.

No topo do Grupo Taubaté, tem-se a Formação São Paulo, representada por depósitos sedimentares relacionados a sistemas fluviais meandrantes, presentes na porção sudoeste da bacia (Riccomini, 1989).

A Formação Pindamonhangaba encontra-se nas porções central e sudoeste da Bacia de Taubaté, e corresponde a um sistema fluvial meandrante que recobre, de forma discordante, os depósitos da Formação Tremembé, Resende e São Paulo (Riccomini, 1989).

### 5.3.2. Investigação Geotécnica

Para aplicação de tirantes na Rodovia Oswaldo Cruz (SP-125), próximo à cidade de Taubaté, foram realizados 13 furos de sondagem a percussão (SPT), totalizando 278,48 metros de sondagem, sendo medida a resistência do solo à cada metro da perfuração conforme ABNT NBR6484:2020.

As sondagens foram divididas em dois grupos de acordo com a topografia do local. Sendo as sondagens SP-01, SP-02, SP-03, SP-04, SP-05 e SP-13 na altura do topo do talude (altura da rodovia) (Figura 16), e as sondagens SP-06, SP-07, SP-08, SP-09, SP-10, SP-11 e SP-12 na altura da base do talude (abaixo da rodovia) (Figura 16).

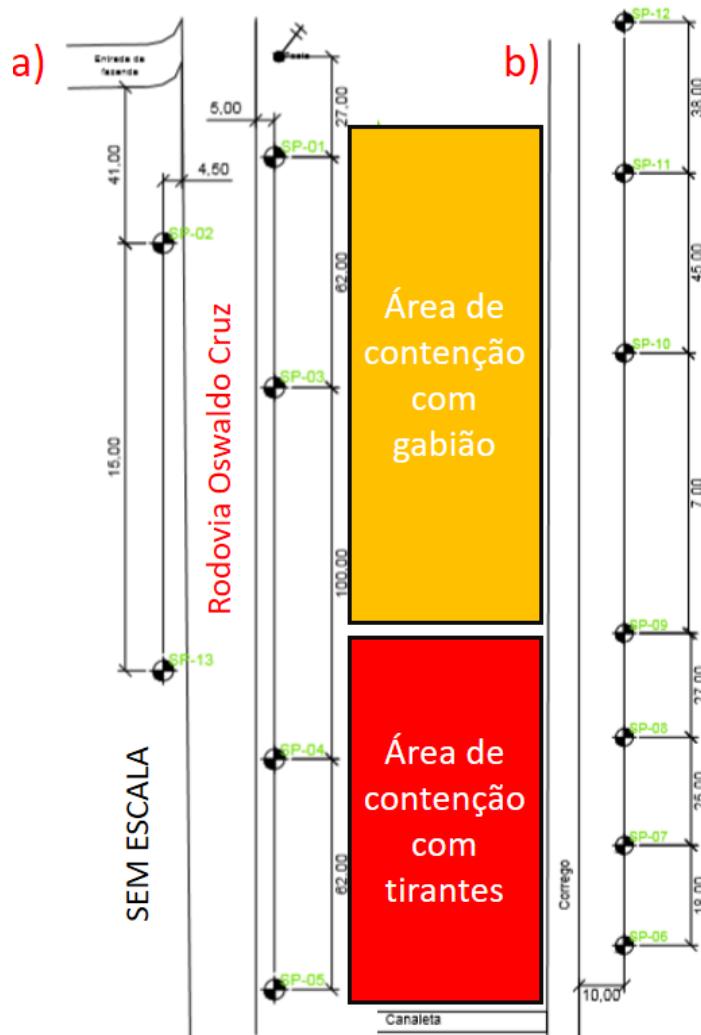


Figura 16: Locação dos pontos de sondagens (LOCAÇÃO SEM ESCALA). a) Grupo de sondagens realizadas no topo do talude (SP-02, SP-013, SP-01, SP-03, SP-04 e SP-05). b) Grupo de sondagens realizadas na base do talude (SP-12, SP-11, SP-10, SP-09, SP-08, SP-07 e SP-06). Adaptado de relatório de sondagem à percussão da empresa contratada.

De maneira geral, as sondagens do topo do talude possuem cerca de 21,00 metros de profundidade e as sondagens da base do talude 7,70 metros de profundidade (Figura 17). Se

iniciam com um aterro argiloso arenoso (areia fina), com 5,00 a 10,00 metros de espessura aproximada, muito mole a médio, de coloração amarelo e cinza, que apresenta resistência SPT até 09. Seguido por um solo residual maduro, mole a médio, contendo argila arenosa (areia fina), com 5,00 metros de espessura e SPT abaixo de 09 (Tabela 3).

A camada seguinte é caracterizada por um solo residual maduro composto por silte argiloso arenoso (areia fina) /silte arenoso argiloso (areia fina), com espessura de aproximadamente 10,00 metros, fofa a compacto, de coloração cinza e amarela, com resistência SPT de 11 a 21. Sendo continuada por uma camada de solo residual maduro, de aproximadamente 5,00 metros de espessura, contendo areia (fina a média), pouco compacta a compacta, de coloração cinza e resistência SPT 23 a 37. Finalizando com uma camada de solo residual jovem contendo areia (fina a média), com traços de alteração de rocha, medianamente compacta a muito compacta, coloração cinza e SPT acima de 30 (Figura 18). A descrição das passagens litoestratigráficas se assemelham com descrições de Riccomini (1989) do Grupo Taubaté.

### SONDAGEM A PERCUSSÃO NBR 6484

DADOS DO CLIENTE: Karajá Construções e Locações Ltda

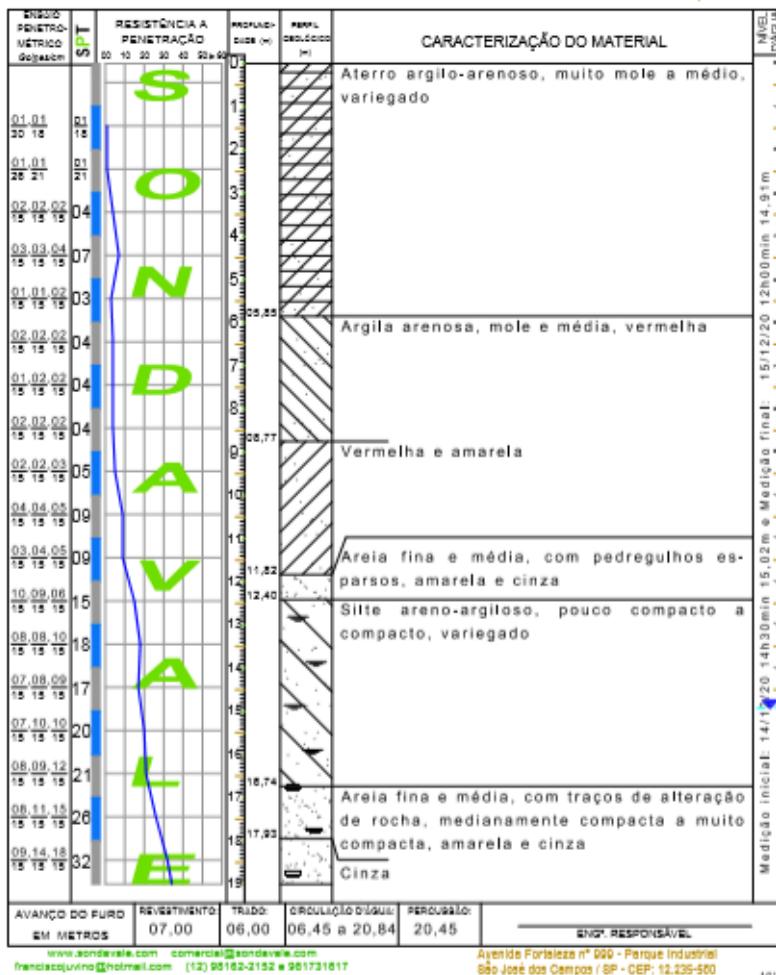
CNPJ: 12.476.090/0001-70

EMPREENDIMENTO: Rodovia Osvaldo Cruz (SP 125), KM 14+300

Registro - Taubaté / SP



OPERADOR: INÍCIO: TÉRMINO: RELATÓRIO: SONDAgem: **Sonda Vale**  
Emane 14/12/2020 15/12/2020 2271220 05 **Sondagem e Estequeamento**  
**Percussão com Torque e em Bolas**



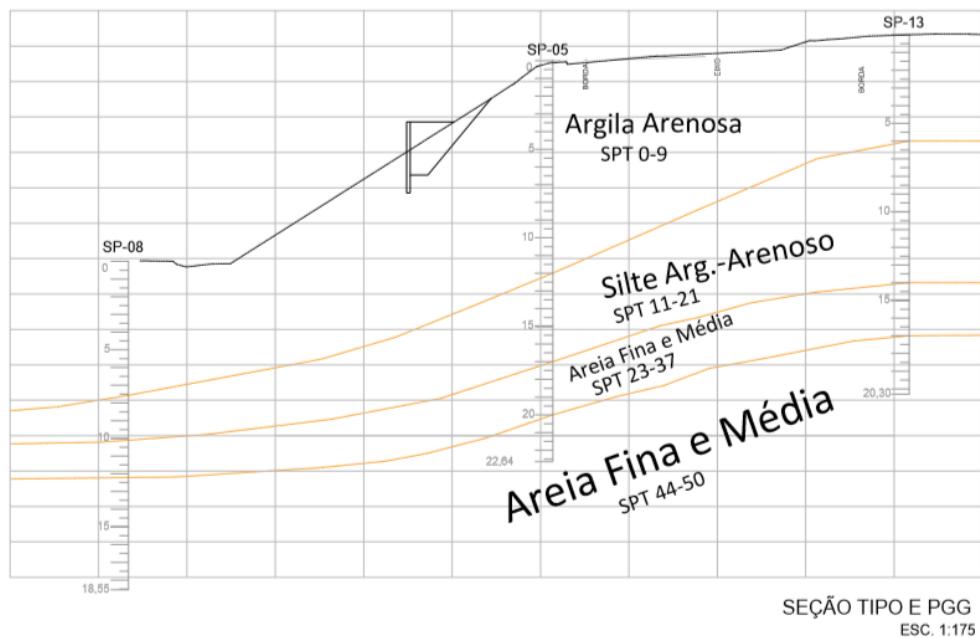


Figura 18 - Seção geológica-geotécnica das sondagens SP-08, SP-05 e SP-13. Extraído de projeto de execução.

Tabela 3 - Identificação das sondagens de Taubaté com profundidade em solo, profundidade em rocha e nível d'água.

| SONDAGEM | PROF. SOLO (m) | PROF. ROCHA (m) | NÍVEL D'ÁGUA (m) |
|----------|----------------|-----------------|------------------|
| SP-01    | 23,6           | -               | 8,9              |
| SP-02    | 20,65          | -               | 11               |
| SP-03    | 21,55          | -               | 9,2              |
| SP-04    | 22,64          | -               | 13,57            |
| SP-05    | 20,84          | -               | 14,91            |
| SP-06    | 14,56          | -               | 0,77             |
| SP-07    | 7,83           | -               | 0,8              |
| SP-07a   | 7,87           | -               | 0,87             |
| SP-07b   | 7,89           | -               | 0,88             |
| SP-08    | 7,64           | -               | 0,8              |
| SP-08a   | 7,68           | -               | 0,83             |
| SP-08b   | 7,61           | -               | 0,88             |
| SP-09    | 18,55          | -               | 8,9              |
| SP-10    | 7,68           | -               | 0,4              |
| SP-10a   | 7,68           | -               | 0,4              |
| SP-10b   | 7,63           | -               | 0,57             |
| SP-11    | 7,89           | -               | 0,92             |
| SP-11a   | 7,77           | -               | 0,91             |
| SP-11b   | 7,66           | -               | 0,91             |
| SP-12    | 7,53           | -               | 0,91             |
| SP-12a   | 7,69           | -               | 0,88             |

|              |               |   |      |
|--------------|---------------|---|------|
| SP-12b       | 7,74          | - | 0,87 |
| SP-13        | 20,3          | - | 0,87 |
| <b>TOTAL</b> | <b>278,48</b> | - | -    |

Fonte: Adaptado de relatório de sondagem à percussão da empresa contratada.

O critério de paralisação utilizado, segundo a ABNT NBR6484:2020, foi de impenetrabilidade ao trepano de lavagem em todas as sondagens com exceção da sondagem SP-13, que teve como critério a impenetrabilidade a percussão.

### 5.3.3. Características do sistema de contenção empregado

O local de contenção trata-se de um talude existente na lateral da pista da Rodovia Oswaldo Cruz (SP-125). Foram utilizadas na área de estudo estacas raiz e perfil tipo "H" como fundação para construção de um muro de concreto para suportar a instalação e tensionamento das linhas de tirantes, além da instalação de sistema de drenagem. Para execução do serviço foi necessário a montagem de andaimes à fim de possibilitar o acesso ao local (Figura 19).

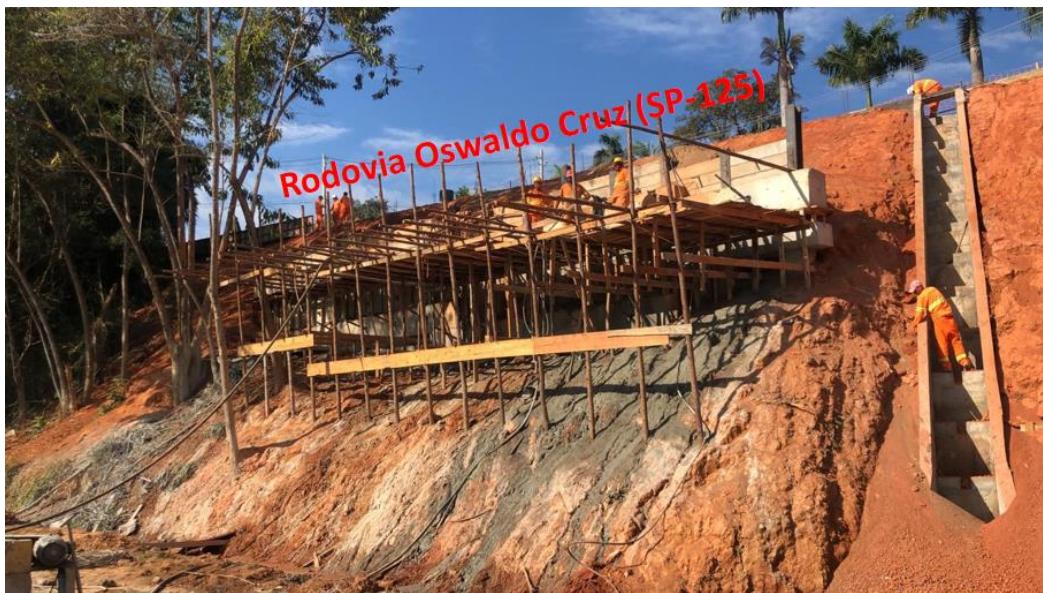


Figura 19 - Andaime montado e instalado no talude a ser contido por muro de concreto e tirantes.

Para contenção do terreno estudado (Figura 20) utilizou-se 15 estacas raiz de Ø400mm com 18,00 metros de largura, com instalação de perfil W200X86 do tipo "H" com 12,00 metros de largura para sustentação de muro de placas pré-moldadas feitos de lajes de painel treliçado duplo com preenchimento de concreto 30Mpa. O muro construído possui 3,60 metros de altura (Figura 21), 21,00 metros de comprimento (Figura 22) e 0,18 metros de espessura. Segundo projeto fornecido pela contratante, o corte do talude a ser contido apresenta uma área de aproximadamente 80,00m<sup>2</sup>.

Neste projeto foram aplicados um total de 25 tirantes (Figura 22) divididos em linhas superior (01 a 14) e linha inferior (15 a 25) separados por um distanciamento horizontal de 1,50 metros e vertical de 2,00 metros (Figura 23a). Todos os tirantes aplicados possuem 1,00 metro de cabeça, 12,00 metros de trecho livre e 7,00 metros de trecho ancorado, 25º de inclinação, são permanentes, ativos, constituídos por monobarra de Ø40mm. Para pintura dos tirantes foi utilizado tinta anticorrosiva EPÓXI.

Utilizou-se injeção do tipo setorizada em duas fases: fase de bainha, com utilização de 300 kg de cimento e, após pelo menos dois dias, a primeira fase de injeção, com utilização de 300 a 600 kg de cimento, com proporção de água:cimento (1:2) em ambas as fases.

O sistema de drenagem é formado por uma canaleta na porção superior da cortina atirantada (Figura 21), com uma escada hidráulica na parte lateral (Figura 19). Além de 25 barbacãs de Ø50mm, com quase 0,60 metros de comprimento posicionados 1,00 metro acima de cada tirante para drenagem superficial (Figura 23b) e 10 DHP (dreno horizontal profundo) de Ø75mm, com aproximadamente 10,00 metros de comprimento, com 7º de inclinação, formados por tubo de PVC envolto em manta geotêxtil (Figura 23c).

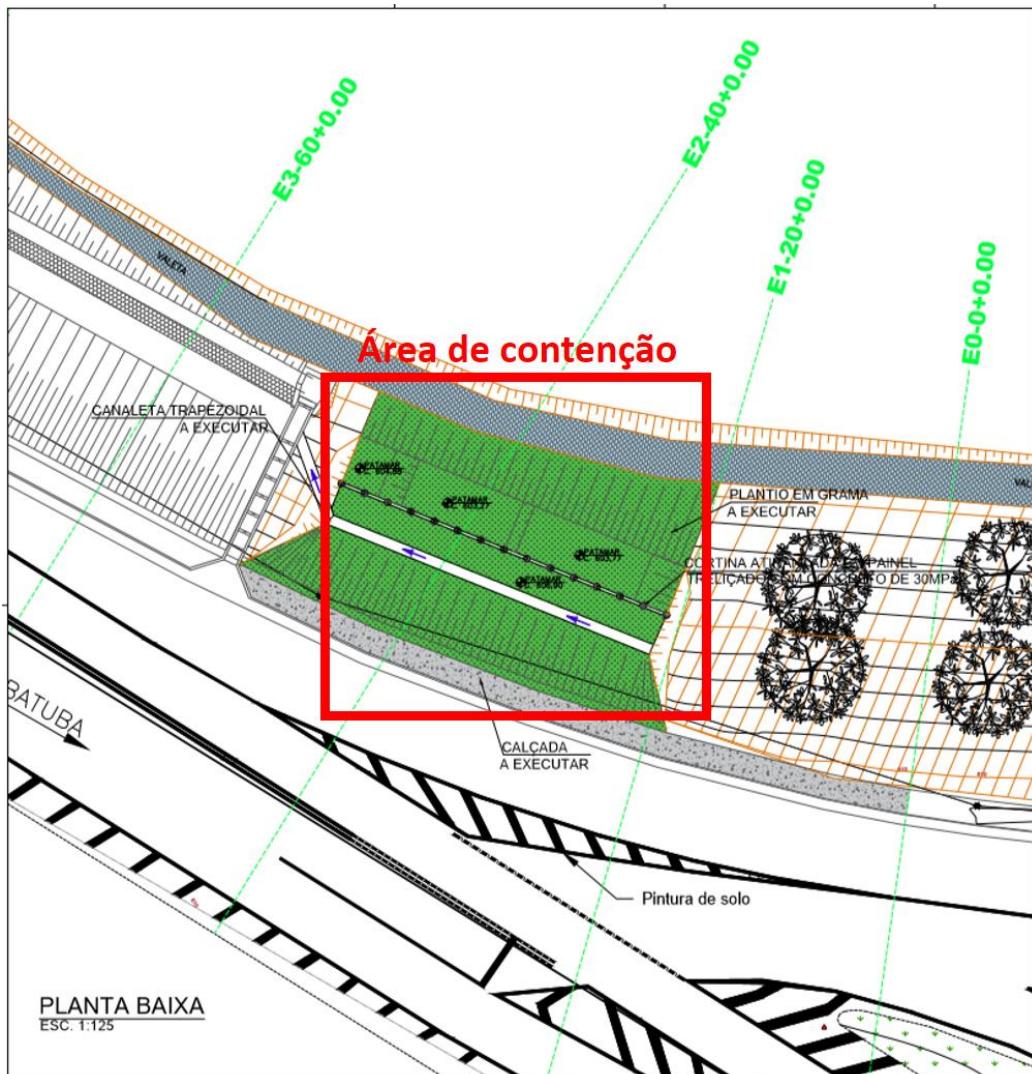


Figura 20 - Planta contendo localização da área de contenção. Adaptado de projeto de execução da empresa contratante.

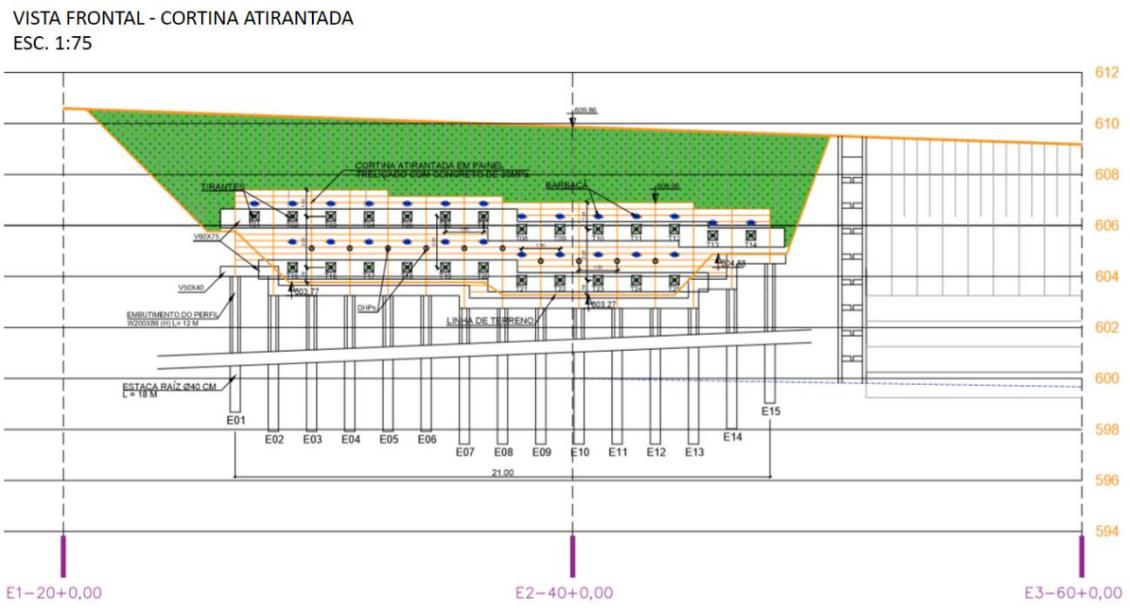


Figura 22 - Vista frontal do projeto contendo identificação das estruturas de contenção e legenda. Extraído de projeto fornecido pela empresa contratante.

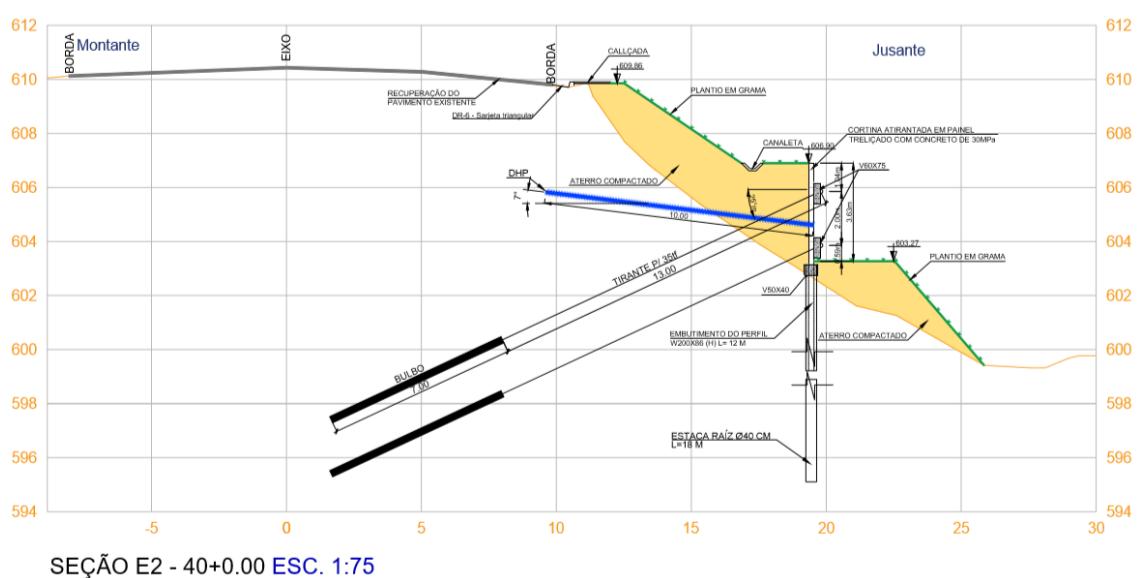


Figura 21 - Vista em perfil do projeto do talude a ser contido. Adaptado de projeto fornecido pela empresa contratante.

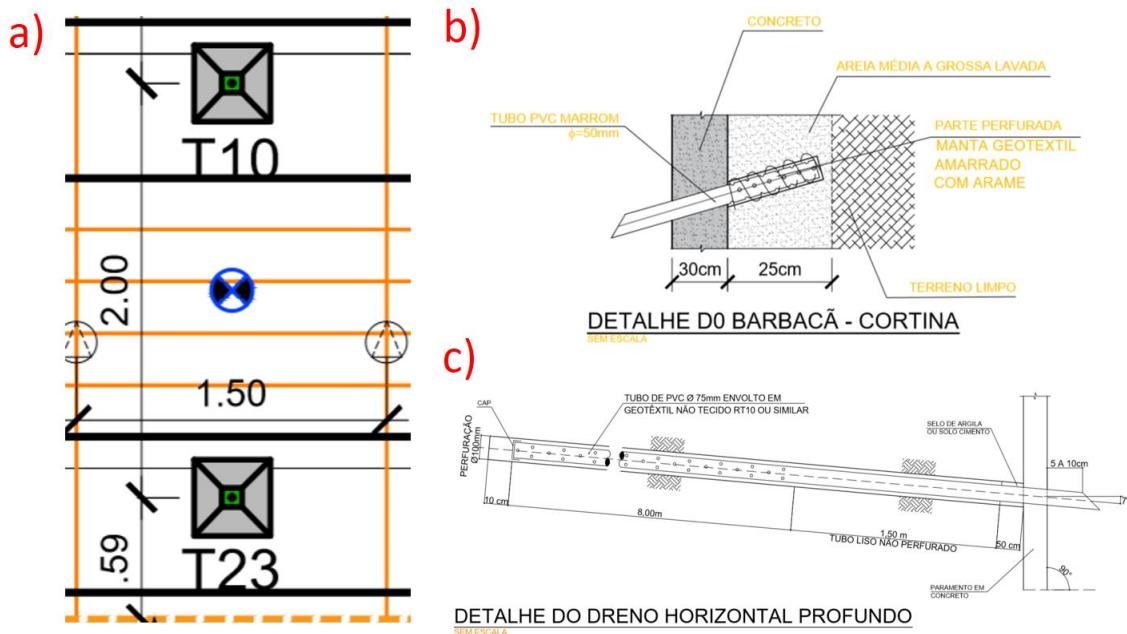


Figura 23 - a) Vista frontal de recorte do projeto com detalhe para distanciamento horizontal e vertical. b) Esquema em perfil de barbacã. C) Esquema em perfil de DHP. Extraído de projeto fornecido pela empresa contratante.

#### 5.3.4. Protensão

A protensão dos tirantes pode ocorrer somente 07 dias após a calda de cimento atingir a resistência de 25Mpa. Tal resistência pode ser medida por meio da coleta do mesmo cimento utilizado nas injeções, através de ensaios realizados em laboratório.

Para ensaio de qualificação e recebimento foi designada uma carga de trabalho prevista pela empresa responsável pelo projeto. Foi estimada uma carga de trabalho de 35 tf, onde, de acordo com item 3.3.3.3 “Ensaio de qualificação e recebimento”, 22 tirantes receberam uma carga de ensaio de 49 tf (40% da carga de trabalho) e 03 tirantes receberam uma carga de 65 tf (>70% da carga de trabalho), sendo que todos foram incorporados com uma carga de 31,5 tf.

## 5.4. Guaratinguetá (SP-171)

### 5.4.1. Contexto geológico regional

O local da obra acompanhada, próximo à cidade de Guaratinguetá – SP, também está situado no contexto geológico da Bacia de Taubaté, em sua porção nordeste. Portanto o contexto geológico regional é o mesmo do item 5.3.1.

### 5.4.2. Investigação Geotécnica

A área de contenção (Figura 24) deste estudo encontra-se na Rodovia Paulo Virgílio (SP-171) e para realizar um estudo geológico geotécnico preliminar, foram executados 04 furos de sondagens mistas de acordo com a ABNT NBR6494:2013 e ABGE (2020) para medição dos parâmetros de resistência do solo e rocha. O total perfurado das sondagens é de 87,90 metros (Tabela 4).

A posição das sondagens está marcada na Figura 25. As sondagens SM-02, SM03 e SM-04 encontram-se ao redor da área de contenção, enquanto a sondagem SM-01 encontra-se do lado oposto da pista. Nota-se pela proximidade das cotas altimétricas a grande inclinação do local (Figura 25).



Figura 24 - Área de contenção na Rodovia Paulo Virgílio (SP-171). Adaptado de Relatório de sondagem fornecido pela ERCAN Construtora.

As sondagens executadas apresentam passagens em solo e em rocha (Figura 25) com uma média aproximada de 20,00 metros de profundidade por furo. De maneira geral (Figura 26), iniciam com uma camada de aterro, seguida por uma camada de solo residual maduro contendo silte arenoso (areia média a grossa) até aproximadamente 8,00 metros, com presença de filossilicatos, coloração amarelo e cinza, fofa a compacto, com SPT 03 a 37.

Sobreposta sobre um solo residual jovem até 12,00 metros, contendo areia siltosa (areia média a grossa), com presença de fragmentos de rochas, filossilicatos e minerais opacos, coloração amarela e cinza, compacto a muito compacto, com SPT acima de 34 até o impenetrável.

Abaixo do pacote de solo de alteração de rocha, tem-se o aparecimento de uma rocha com estrutura bandada (bandamento composicional), textura granonematoblástica, granulação média a grossa, mineralogia contendo quartzo e feldspato (bandas félscicas) e biotita e minerais opacos (bandas maficas), aparentando se tratar de um Biotita gnaisse pertencente ao Cinturão de Dobramentos do Ribeira, segundo Hasui e Ponçano (1978).

O maciço rochoso é formado por rocha alterada mole (RAM) até aproximadamente 15,00 metros, com recuperação de 50% e RQD de 08%. Seguida por rocha alterada dura (RAD) até 17,00 metros, com recuperação de 60% e RQD de 30%. E finalizada com rocha sã (RS) até o término da sondagem, com recuperação de 96% e RQD de 96%.

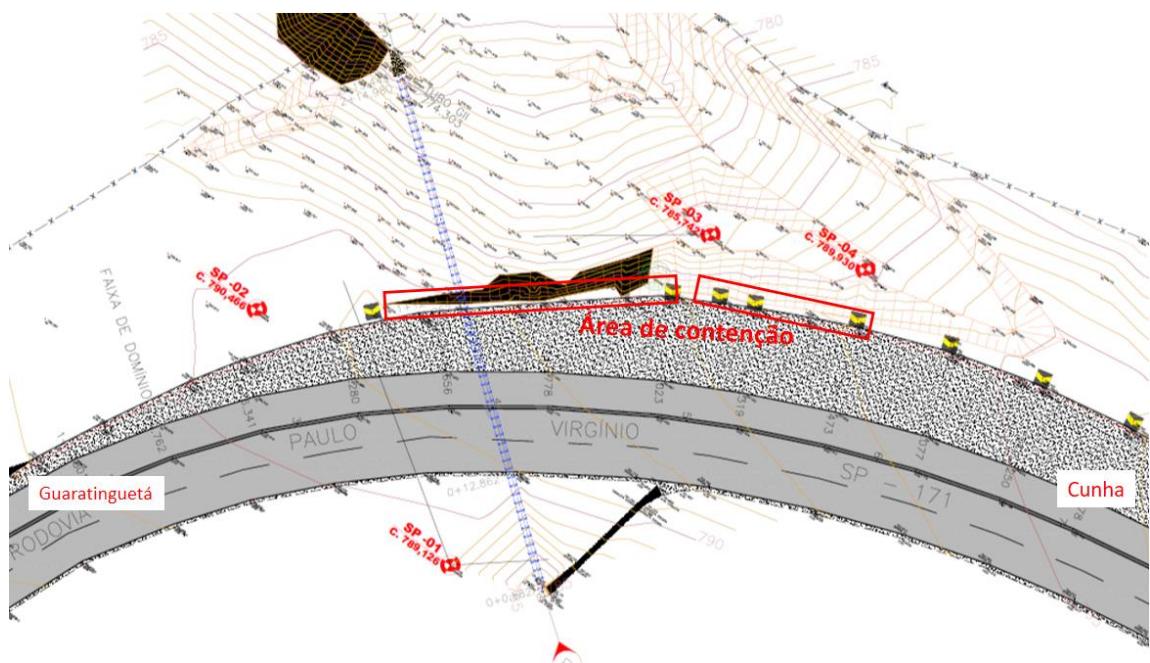


Figura 25 - Planta da área de projeto com destaque para os pontos de sondagens e para área de contenção. Adaptado de projeto fornecido pela ERCAN Construtora.

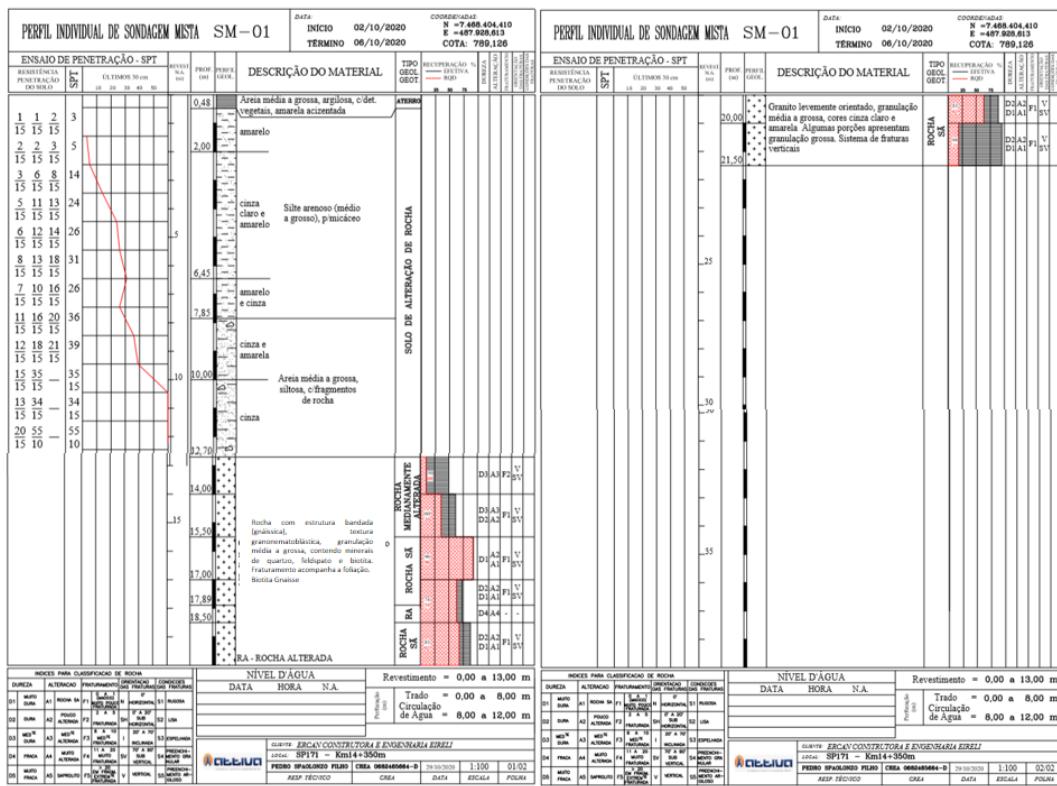


Figura 26 - Boletim de sondagem mista (SM-01). Extraído de relatório de sondagem mista fornecida pela ERCAN Construtora.

PGG - PERFIL GEOTÉCNICO  
ESC. 1:250

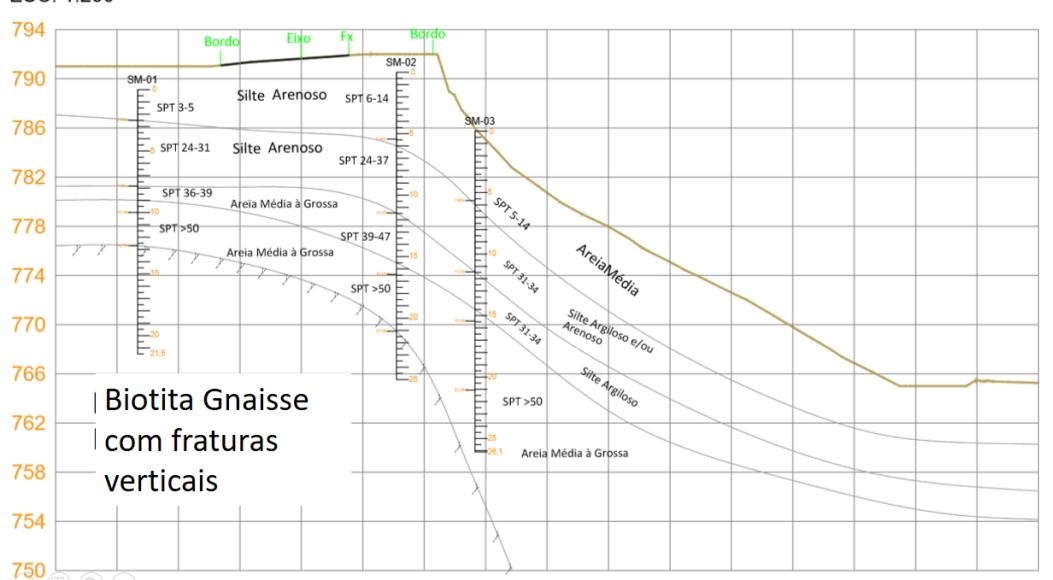


Figura 27 - Perfil geológico-geotécnico produzido a partir dos resultados das sondagens. Adaptado de relatório de sondagem fornecida pela ERCAN Construtora.

Tabela 4 - Identificação das sondagens de Guaratinguetá com profundidade em solo, profundidade em rocha e nível d'água.

| SONDAGEM     | PROF. SOLO (m) | PROF. ROCHA (m) | PROF. TOTAL (m) | NÍVEL D'ÁGUA (m) |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| SM-01        | 12,7           | 8,8             | 21,5            | seco             |
| SM-02        | 21,06          | 3,94            | 25              | seco             |
| SM-03        | 26,1           | 0               | 26,1            | seco             |
| SM-04        | 8,3            | 7               | 15,3            | seco             |
| <b>TOTAL</b> | <b>68,16</b>   | <b>19,74</b>    | <b>87,9</b>     |                  |

Fonte: Adaptada de informações fornecidas pela empresa contratada.

#### 5.4.3. Características do sistema de contenção empregado

Este projeto possui o intuito de conter um talude (Figura 27) existente na porção inferior da lateral da pista da Rodovia Paulo Virgílio (SP-171). Para isso foram utilizadas estacas raiz para sustentação de perfil do tipo “H” para construção de muro de placas pré-moldadas de concreto para sustentar a cortina atirantada que irá realizar a contenção do terreno. Além de utilização de sistemas de drenagem.

A área a ser contida pela cortina atirantada (Figura 28) possui aproximadamente 310m<sup>2</sup>. Para sua contenção, utilizou-se 33 estacas raiz de Ø400mm com 10,00 metros de largura para suportar perfil W200X46.1 do tipo “H” com 5,00 metros de comprimento, para construção de muro feito com placas pré-moldadas de laje de painel treliçado duplo com preenchimento de concreto com resistência 30MPa. O muro executado apresenta 48,00 metros de comprimento (Figura 28), 7,25 metros de altura (Figura 29) e 0,18 metros de espessura.

Neste projeto foram aplicados um total de 96 tirantes (Figura 28) divididos em quatro linhas de contenção, com um distanciamento horizontal de 1,50 metros e vertical de 2,00 metros (Figura 30). A primeira linha (L1) é composta por 27 tirantes (01 a 27) com 20,00 metros de comprimento e Ø30mm; a segunda linha (L2) é composta por 31 tirantes (28 a 58) com 20,00 metros de comprimento e Ø30mm; a terceira linha (L3) é composta por 26 tirantes (59 a 84) com 30,00 metros de comprimento e Ø44mm; a terceira linha (L4) composta por 12 tirantes (85 a 96) com 30,00 metros de comprimento Ø44mm.

Os tirantes aplicados nas linhas L1 e L2, com 20,00 metros de comprimento, apresentam 7,00 metros de trecho ancorado, 12,00 metros de trecho livre e 1,00 metro de cabeça, já os tirantes aplicados nas linhas L3 e L4, com 30,00 metros de comprimento, apresentam 7,00 metros de trecho ancorado, 22,00 metros de trecho livre e 1,00 metro de cabeça. Todos os tirantes aplicados possuem 20º de inclinação, são permanentes, ativos,

constituídos por monobarras de Ø30mm (L1 e L2) e Ø44mm (L3 e L4), com utilização de tinta anticorrosiva EPÓXI.

Para injeção, escolheu-se injeção do tipo setorizada em três fases: fase de bainha, com utilização de 250kg de cimento, e após dois dias, a primeira fase de injeção, com consumo de 250 a 500kg de cimento, seguida pela segunda fase de injeção, com consumo de 200 a 300kg de cimento. A proporção de água e cimento é de 1:2 em todas as fases.

Foi utilizado, como sistema de drenagem, uma canaleta abaixo da cortina atirantada (Figura 29) com uma escada hidráulica ao lado. Para drenagem da cortina atirantada, utilizou-se 80 barbacãs de Ø50mm com 0,60 metros de comprimento, posicionados acima dos tirantes para realizar a drenagem superficial da água (Figura 30b) e 43 DHP de Ø75mm aproximadamente 12,00 metros de comprimento, com 7° de inclinação (Figura 30c), localizados entre as linhas L2, L3 e L4.

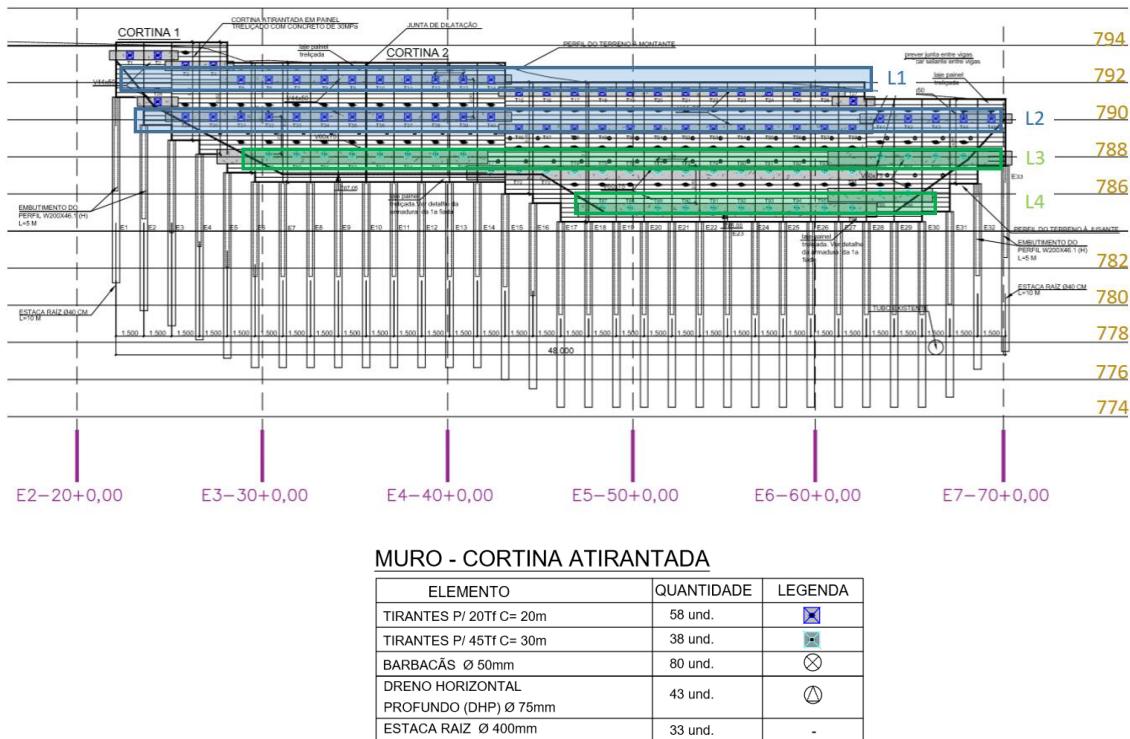


Figura 28 - Vista frontal do projeto contendo identificação das estruturas de contenção e legenda. Extraído de projeto fornecido pela ERCAN Construtora.

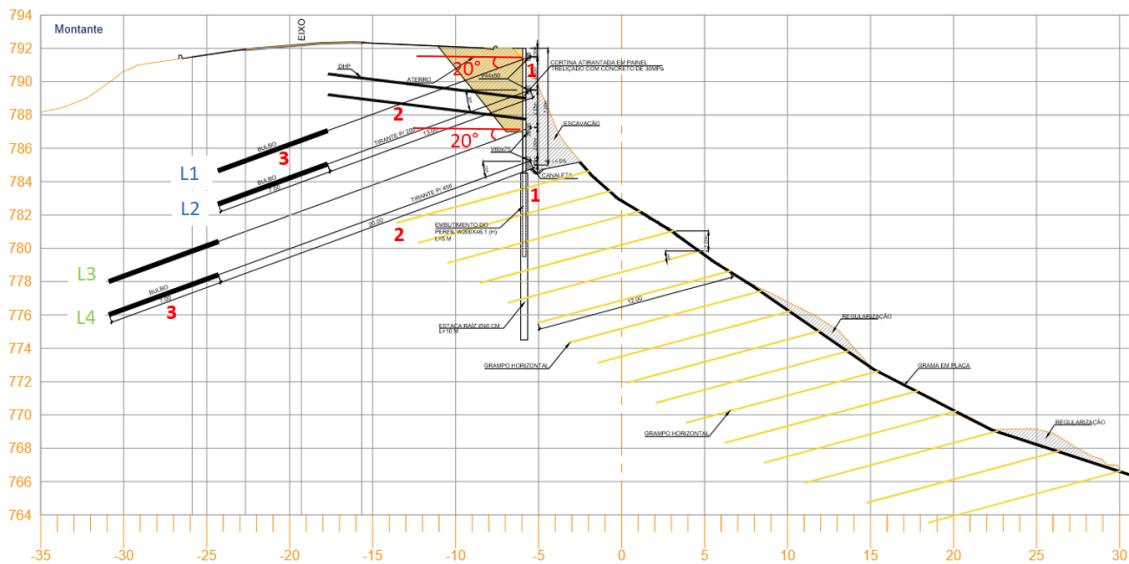


Figura 29 - Vista em perfil do talude a ser contido. Adaptado de projeto fornecido pela empresa ERCAN Construtora.

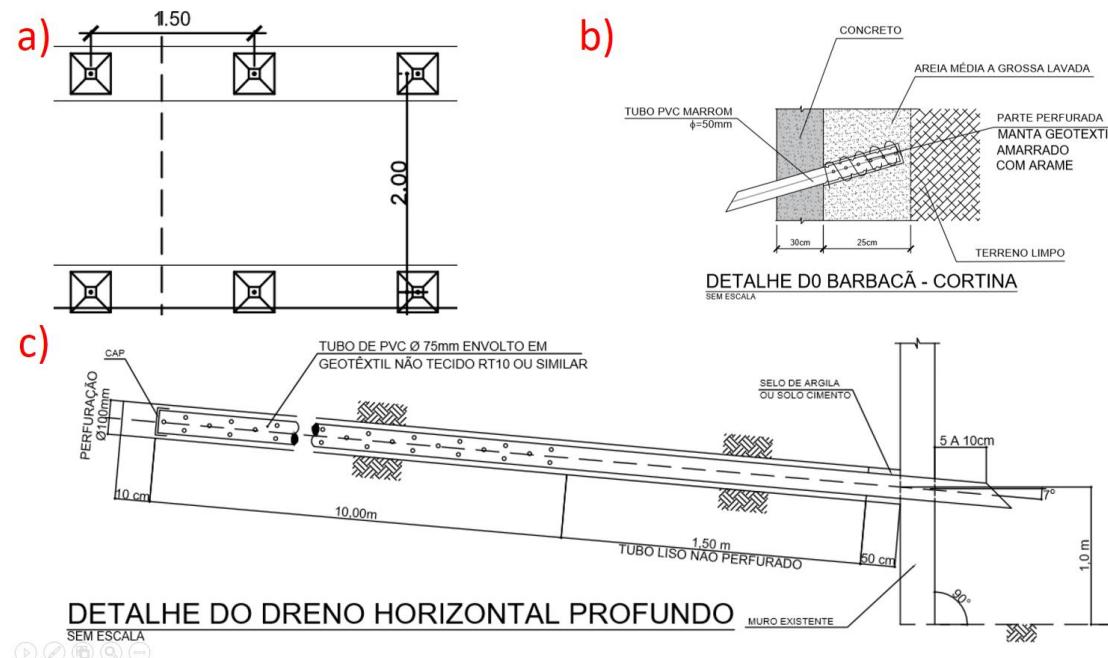


Figura 30 - a) Vista frontal de recorte do projeto com detalhe para distanciamento horizontal e vertical. b) Esquema em perfil de barbacã. C) Esquema em perfil de DHP. Extraído de projeto fornecido pela ERCAN Construtora.



Figura 27 - Antes e depois do local de contenção. Imagens fornecidas pela ERCAN Construtora.

#### 5.4.4. Protensão

Ao finalizar a instalação dos tirantes, os mesmos participam de um ensaio de protensão onde recebem uma carga de trabalho calculada e prevista pela empresa responsável do projeto. Calculou-se uma carga de trabalho de 20 tf para as linhas superiores (L1 e L2) e 46 tf para as linhas inferiores (L3 e L4). De acordo com a norma ABNT NBR5629:2018, 90% dos tirantes recebem uma carga de ensaio de 40% acima da carga de trabalho e 10% dos tirantes recebem uma carga de ensaio de 70% acima da carga de trabalho. A carga de incorporação final da linha superior é de 17 tf e da linha inferior é de 38 tf.

### 5.5. Varginha (MG)

#### 5.5.1. Contexto geológico regional

A Cidade de Varginha, situada no Complexo Varginha, está localizada a sul da Faixa Brasília que faz parte de um orógeno neoproterozóico desenvolvido entre o Cráton São

Francisco, Cráton Amazônico e uma região onde atualmente está recoberta por rochas sedimentares da Bacia do Paraná (Pimentel et al., 2004).

O Complexo Varginha é uma unidade litoestratigráfica com maior distribuição geográfica na região, cobrindo boa parte da área compreendida entre a zona de cisalhamento Campo do Meio, que se trata de um cinturão intensamente tectonizado com direção E-W, individualizada como uma sequência metassedimentar com rochas de origem máfica, ultramáfica, ortognisses e granitos sin-tardi tectônicos, e a zona de cisalhamento Ouro Fino, que separa o Complexo Socorro e Complexo Guaxupé, com direção ENE-WSW, apresentando rochas arqueanas-paleoproterozóicas do embasamento (Cavalcante et al., 1979).

Cavalcante et al. (1979) dividiu os terrenos do Pré-Cambriano e Eopaleozóico em associações. A Associação Barbacena agrupa rochas de diversas origens e idades que possuem notáveis modificações causadas pelo último diastrofismo pré cambriano, com repercussões no Eopaleozóico.

A Associação Barbacena, segundo Cavalcante et al. (1979), pode ser subdividida em: Complexo Socorro, Complexo Varginha, Complexo Paraisópolis, Complexo Andrelândia, Complexo Amparo, Complexo Campos Gerais, Complexo Itapira, Complexo Lambari e Complexo Rio Elvas (Figura 31).

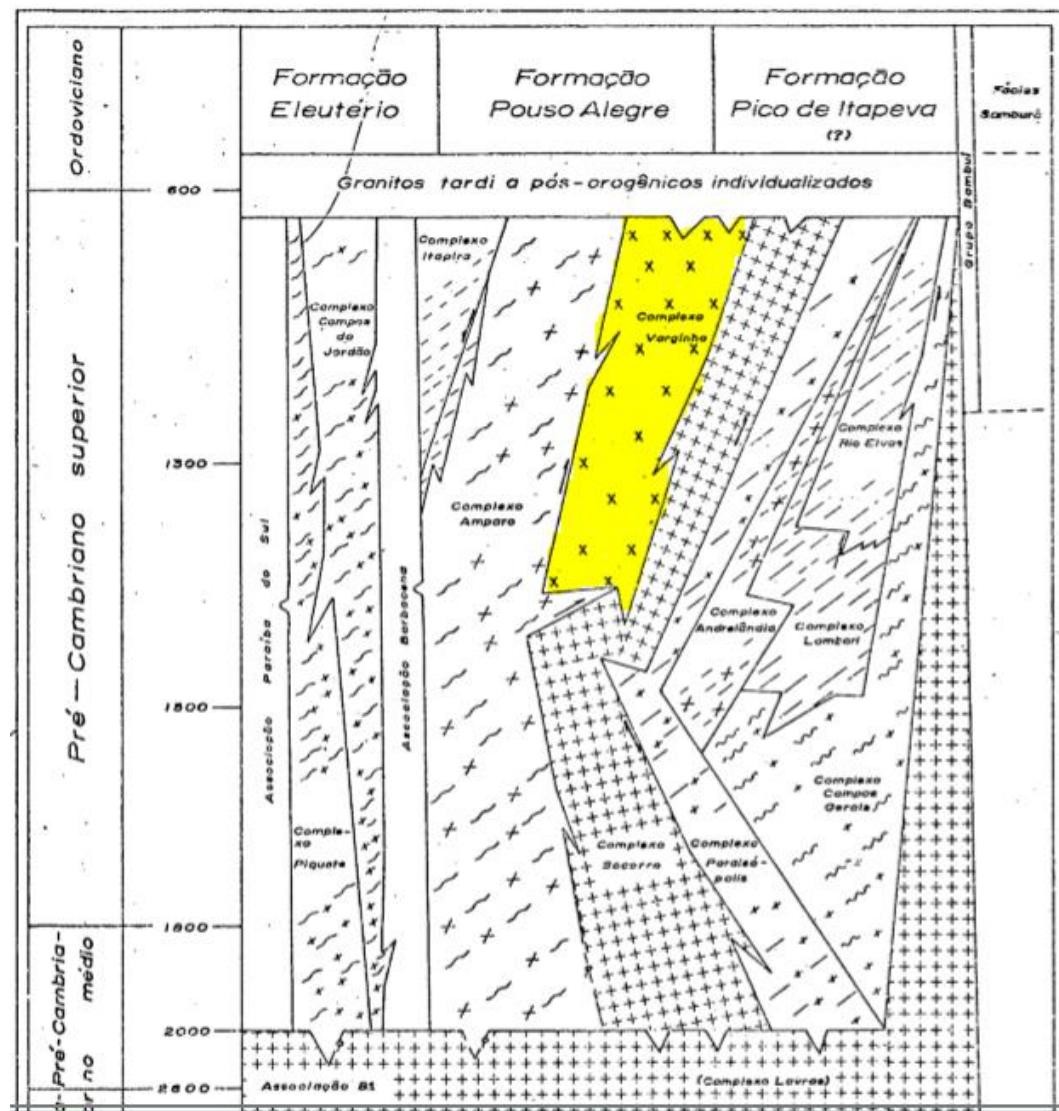


Figura 31 - Organização litoestrutural dos complexos pré-Cambrianos médio, pré-Cambriano superior e Eopaleozóico, com destaque para Complexo Varginha (Extraído de Cavalcante et al., 1979).

Cavalcante et al. (1979), no Projeto Sapucaí, denomina o Complexo Varginha como o conjunto de rochas metassedimentares da região de Varginha, anteriormente definido por Ebert (1968), mais as rochas da região de São José do Rio Pardo, descritas por Oliveira (1973), e mais as rochas agrupadas como Grupo Pinhal.

O Complexo Varginha compreende um domínio de granitos e granitóides com fácies granulíticas e anfíbolíticas. Tem-se metagrauvacas, micaxistos e metarcósios, do Grupo Varginha e granitos e ortognaisses do ciclo orogenético Barbacena (Ebert, 1967). Acrescentam-se, ainda, granitos, migmatitos plutônicos e granulitos da faixa Mogi Guaçu – Campinas (Cavalcante et al., 1979).

Segundo Cavalcante et al. (1979), são reconhecidos os tipos petrográficos: granada-biotita-xistos, cianita-granada-biotita-xistos, granada-biotita-gnaisses, silimanita-granada-biotita-gnaisses, cianita-granada-gnaisses, granoblastitos, granitos leucocráticos,

calcossilicáticas, mármores dolomíticos, piroxênio-granulitos, granitos metassomáticos e migmatitos heterogêneos. As porções granulíticas se expressam na região norte e as porções de migmatitos e granitóides se expressam na parte sul.

### 5.5.2. Investigação Geotécnica

Para contenção do corte de talude na Av. Castelo Branco, Varginha – MG, foram realizados 04 furos de sondagens mistas, totalizando 101,37 metros de sondagem (Tabela 5), sendo medida a resistência do solo à cada metro da perfuração conforme ABNT NBR6484:2020, quando em solo. E sendo descritas as passagens litológicas, alteração, coesão, fraturamento e nível d’água, quando em rocha.

A locação das sondagens foi fornecida pela empresa contratante do serviço, e como é possível notar na Figura 32, os pontos estão distribuídos por todo terreno e assim abrangendo todos os níveis topográficos da área. A sondagem SM-01, situada na porção menos elevada, encontra-se próximo a cota 875,00 metros, a sondagem SM-02 e SM-03 estão próximas a cotas 880,00 metros e a sondagem SM-05 encontra-se acima da cota 885,00 metros.

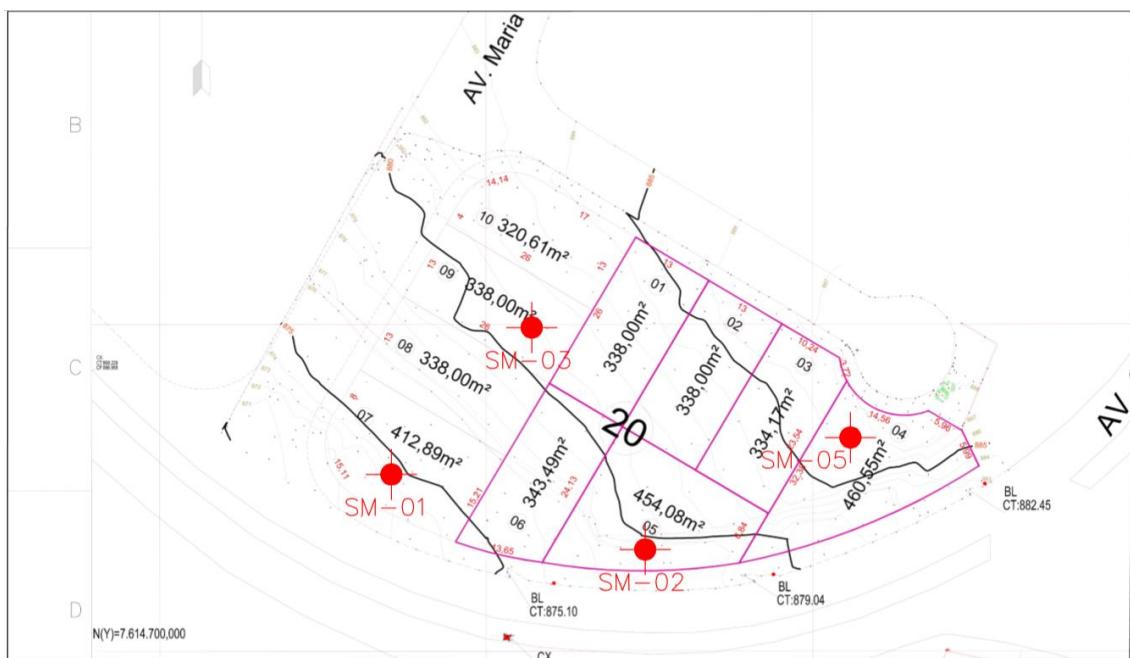


Figura 32 - Planta da área de projeto com destaque para os pontos de sondagens e para as linhas de cotas. Adaptado de projeto fornecido pela Barbosa Construtora.

As sondagens realizadas no terreno possuem, de maneira geral, 25,50 metros de profundidade cada (Tabela 5), e são sondagens mistas (sondagem SPT e sondagem rotativa). As sondagens se iniciam com uma cobertura de aterro com menos de 1,00 metro de espessura, de coloração marrom, vermelho e cinza, contendo argila arenosa pouco siltosa.

Abaixo da camada de aterro, tem-se um solo coluvionar até aproximadamente 2,00 metros (material transportado por gravidade, típico de terrenos de serras e encostas) formado por argila siltosa pouco arenosa, de coloração vermelha, muito mole a mole, com SPT inferior a 04 (Figura 33).

A camada de solo coluvionar está depositada sobre uma camada de solo residual maduro até aproximadamente 8,00 metros, contendo silte argiloso pouco arenoso (areia fina) / silte arenoso pouco argiloso (areia fina), com presença de filossilicatos (argilominerais), coloração vermelho e amarelo, muito mole a médio ou fofa a muito compacto, com resistência SPT abaixo de 09.

As sondagens são seguidas por um solo residual jovem até 20,00 metros, contendo silte arenoso pouco argiloso (areia fina), de coloração cinza e amarelo, apresentando estruturas reliquias da rocha, com presença de filossilicatos e fragmentos de rocha, medianamente compacto a compacto. com resistência SPT entre 09 e 38 (Figura 34).

Abaixo das camadas de solo encontra-se o maciço rochoso até o fim das sondagens. O maciço é formado por rocha alterada mole (RAM) somente nos primeiros centímetros, tornando-se rocha alterada dura (RAD) / rocha sã (RS) e descrita como uma rocha com estrutura contendo bandamento composicional (gnáissico), textura granonematoblástica, com mineralogia: quartzo e feldspato (bandas félsicas), biotita (bandas máficas) e granada, denominada Granada biotita gnaisse.

O gnaisse apresentou uma baixa recuperação (18%) na região muito alterada (RAM), RQD 0%, extremamente fraturada, friável, paredes oxidadas, com principais fraturas na mesma direção da foliação. A porção com pouca alteração apresentou alta recuperação (acima de 89%), RQD acima de 60%, medianamente fraturado, algumas paredes oxidadas e fraturas na mesma direção da foliação.

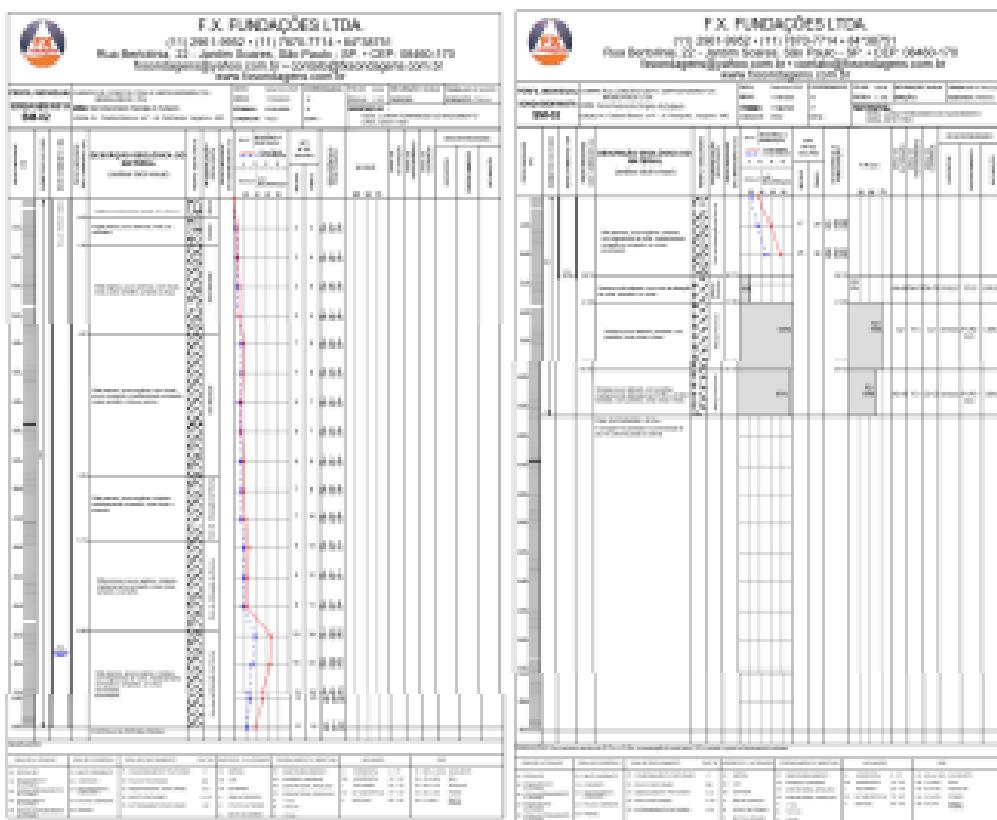


Figura 33 - Boletim de sondagem mista (SM-02). Extraído de relatório de sondagem mista fornecida pela Barbosa Construtora.

## FOTO - SONDAGEM SM-02

### CAIXA ÚNICA



Figura 35 - Caixa de testemunhos de sondagem mista SM-02. Imagem fornecida pela Barbosa Construtora.

Tabela 5 - Identificação das sondagens de Varginha com profundidade em solo, profundidade em rocha e nível d'água.

| SONDAGEM     | PROF. SOLO (m) | PROF. ROCHA (m) | PROF. TOTAL (m) | NÍVEL D'ÁGUA (m) |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| SM-01        | 18,4           | 6,72            | 25,12           | 8,9              |
| SM-02        | 20,72          | 4,59            | 25,31           | 11               |
| SM-03        | 19,6           | 4,8             | 24,4            | 9,2              |
| SM-05        | 20,95          | 5,59            | 26,54           | 13,57            |
| <b>TOTAL</b> | <b>79,67</b>   | <b>21,7</b>     | <b>101,37</b>   |                  |

Fonte: Adaptada das informações fornecidas pela empresa contratada.

### 5.5.3. Características do sistema de contenção empregado

Neste projeto em questão, para construção de um edifício, foi necessária a retirada de solo para horizontalização do local e assim, surgiu a necessidade de contenção do novo recorte do terreno (Figura 36).

A aplicação de tirantes a ser realizada no terreno possui a finalidade de conter as seções "B-B", "A-A" e "G-G" (Figura 37). Para tal, foram utilizadas estacas escavadas de Ø400mm com comprimentos de 8,00 a 18,00 metros espalhadas por todo contorno do terreno. Para instalação dos tirantes, utilizou-se vigas de perfil metálico W150X22,5 na horizontal para possibilitar a protensão. O sistema de drenagem utilizado não foi disponibilizado pela empresa.

Para contenção foram utilizados 69 tirantes dos quais 04 tirantes serão utilizados para conter a seção B-B, 46 tirantes serão utilizados para conter a seção A-A e 19 tirantes serão utilizados para conter a seção G-G.

A seção B-B (Figura 38) apresenta uma área aproximada de contenção de 60m<sup>2</sup> e serão utilizados apenas 01 linha de 04 tirantes de 14,00 metros dos quais 10,00 metros são de trecho ancorado, 3,00 metros de trecho livre e 1,00 metro de cabeça. O espaçamento horizontal entre os tirantes é de 2,50 metros. Foi realizada injeção setorizada em duas fases: fase de bainha, com utilização de 350 a 400 kg de cimento a uma pressão de 4 kgf/cm<sup>3</sup>; e a primeira fase de injeção, no dia seguinte à fase de bainha, com utilização de 1200 kg de cimento a uma pressão de 8 a 11 kgf/cm<sup>3</sup>.

A seção A-A (Figura 39) apresenta uma área aproximada de contenção de 310m<sup>2</sup> subdividida em duas linhas: linha superior contendo 23 tirantes de 19,00 metros dos quais 10,00 metros são do trecho ancorado, 8,00 metros de trecho livre e 1,00 metro de cabeça; e linha inferior contendo 23 tirantes de 13,00 metros de comprimentos dos quais 8,00 metros são do trecho ancorado, 4,00 metros de trecho livre e 1,00 metro de cabeça. O espaçamento horizontal entre os tirantes é de 2,50 metros e o espaçamento vertical entre a linha superior e inferior é de 3,93 metros. A injeção setorizada: na fase de bainha com pressão de 4 kgf/cm<sup>2</sup>, consumo de 300 a 400 kg de cimento na linha superior e 150 a 200 kg de cimento na linha inferior; na primeira fase com pressão de 9 a 12 kgf/cm<sup>2</sup>, consumo de 1200 kg de cimento na linha superior e 800 kg de cimento na linha inferior.

A seção G-G (Figura 40) apresenta uma área aproximada de contenção de 160m<sup>2</sup> aplicadas em 01 linha de 19 tirantes, espaçados a cada 2,50 metros, apresentando 19,00 metros dos quais 10,00 metros são do trecho ancorado, 8,00 metros do trecho livre e 1,00 metro da cabeça. Também foi realizada injeção setorizada, com consumo de 300 a 400 kg de

cimento para fase da bainha a uma pressão de 4 kgf/cm<sup>3</sup> e consumo de 1200 kg de cimento para primeira fase a uma pressão de 10 a 11 kgf/cm<sup>3</sup>,

Todos os tirantes aplicados no projeto possuem 18º de inclinação, são permanentes, ativos, constituídos por monobarras de Ø37mm, com utilização de tinta anticorrosiva EPÓXI.

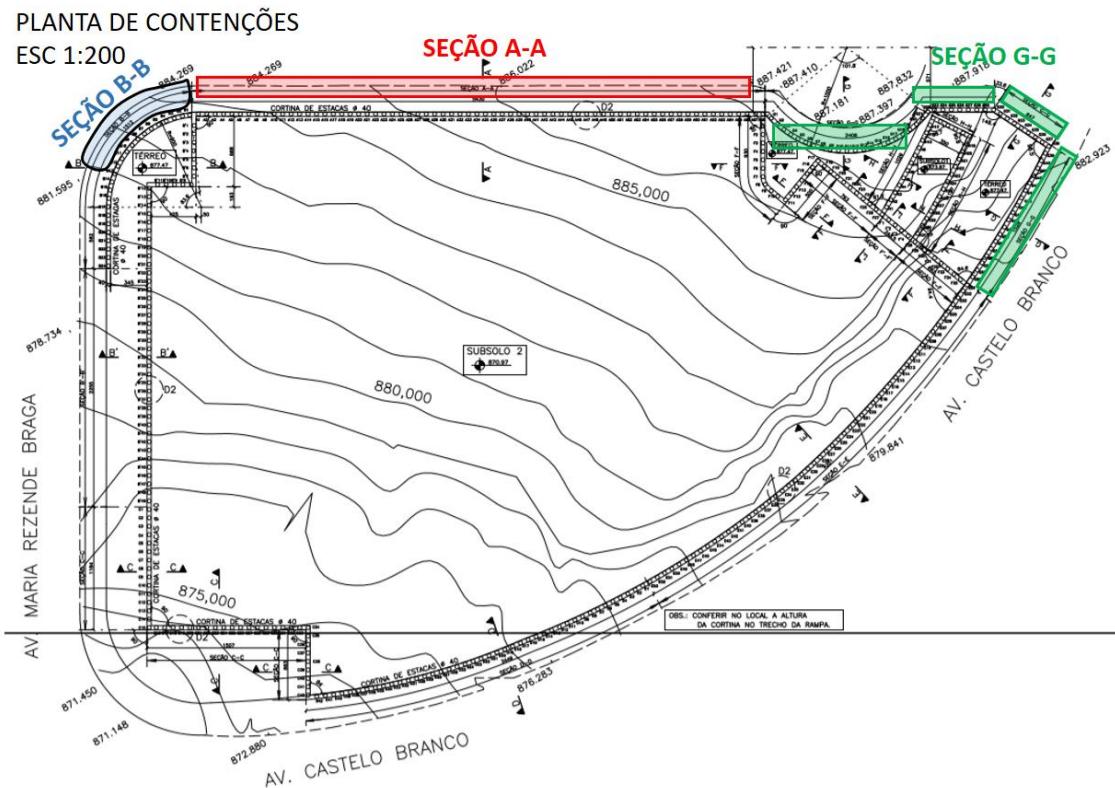


Figura 37 - Planta do projeto com destaque para seções de contenção: B-B (em azul), A-A (em vermelho) e G-G (em verde). Adaptado de projeto de execução fornecido pela Barbosa Construtora.

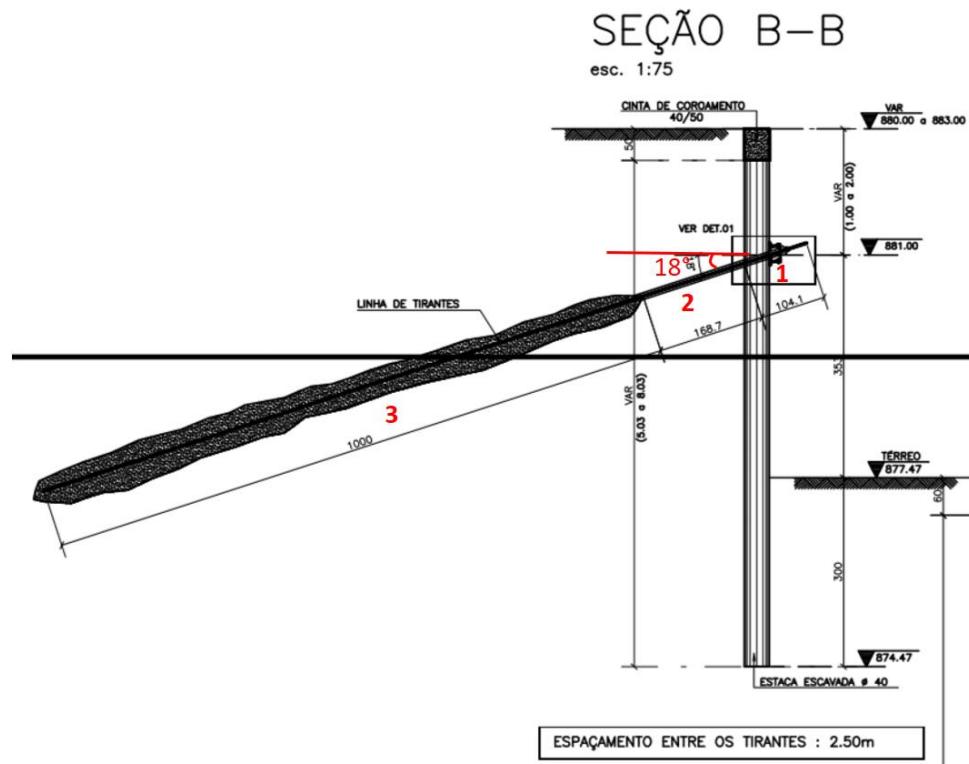


Figura 38 - Vista em perfil da seção B-B a ser contida. Adaptado de projeto fornecido pela Barbosa Construtora.

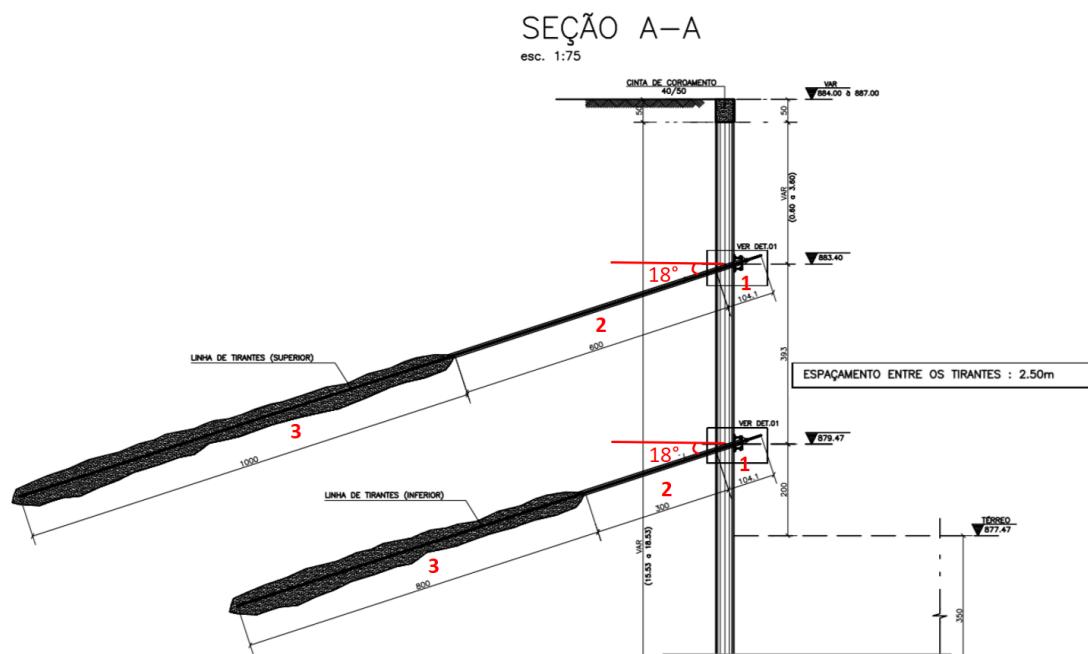


Figura 39 - Vista em perfil da seção A-A a ser contida. Adaptado de projeto fornecido pela Barbosa Construtora.

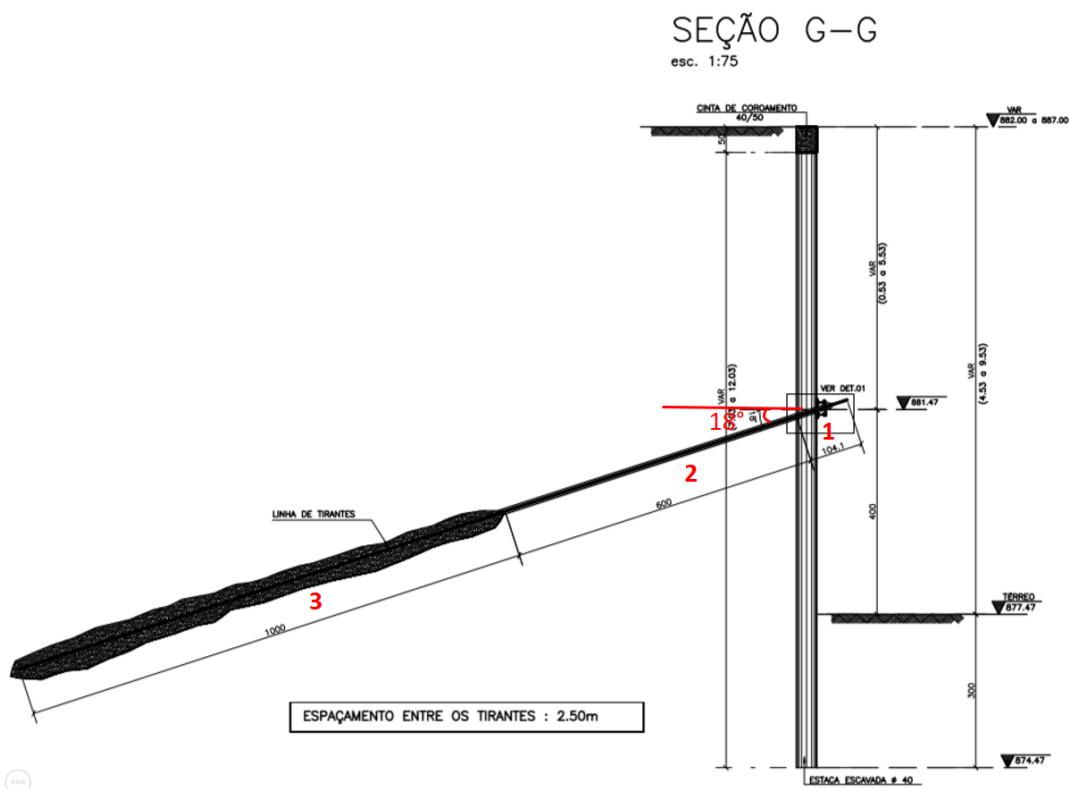


Figura 40 - Vista em perfil da seção G-G a ser contida. Adaptado de projeto fornecido pela Barbosa Construtora.



Figura 36 - Antes e depois do local de contenção. Imagens fornecidas pela Barbosa Construtora.

#### 5.5.4. Protensão

Os tirantes foram protendidos com uma carga de trabalho de 41 tf designada pela empresa responsável pelo projeto. Dos 69 tirantes protendidos, 07 receberam uma carga de ensaio de 70 tf (70%) e 62 tirantes receberam uma carga de ensaio de 57,4 tf (40%) segundo exigências da ABNT NBR5629:2018. Ao final dos ensaios, todos os tirantes foram incorporados com uma carga de 41 tf.

## 6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 6.1. Características Gerais Das Obras Analisadas

Analizando um contexto geológico geral das obras executadas é possível notar que todas estão inseridas em um cenário de influência tectônica, tanto as obras realizadas na bacia de Taubaté, que sofreram influência do RCSB (Riccomini, 1989), como a obra realizada em Varginha, com relação a um orógeno do neoproterozóico (Pimentel et al., 2004).

Nas campanhas de sondagens foram encontrados, principalmente, solos arenosos de alteração de rocha e rochas gnáissicas em praticamente todos os estados de alteração. As sondagens SPT foram executadas até a atingirem critério de impenetrabilidade imposto pelo cliente, indicando um alto índice de resistência (3.1.1). E as sondagens rotativas até atingirem uma classificação esperada do maciço rochoso de acordo com o RQD (3.1.2.). As investigações indicaram níveis d'água acima de 10,00 metros até seco.

Dentre as opções estudadas, nota-se que é muito comum a necessidade de reforço de cortes de talude, principalmente quando há a necessidade de suportar cargas elevadas. Tanto para implantação de novas rodovias ou manutenção e prevenção de rodovias já existentes, como para aplainamento de terrenos para construções em geral como prédios, shoppings, supermercados, etc. Fatores climáticos, como chuvas, também favorecem a ocorrência de deslizamentos em encostas e geram a necessidade de novas contenções.

As soluções aplicadas são permanentes com utilização de tirantes permanentes, foram abordadas áreas de diferentes metragens e com diferentes alturas de contenção. Nota-se uma relação direta entre a quantidade de tirantes e a área a ser contida. E também do diâmetro da barra de aço tracionada com a carga a ser suportada.

### 6.2. Estudo Preliminar E Planejamento Do Projeto

Foram realizados estudos preliminares de serviços de topografia e sondagens. O serviço de topografia, em todos os casos terceirizado, utilizou cotas verdadeiras, com sistema de coordenadas e divisões planoaltimétricas com cotas de 1,00 em 1,00m até 5,00 em 5,00 metros.

As sondagens foram realizadas em solo e em rocha, com pelo menos 04 pontos de sondagens independente da área do projeto. A locação dos furos foi realizada pela

empresa contratante, com posicionamento de sondagens distribuídas a montante e a jusante do talude com o intuito de determinar com a maior precisão possível a cunha de ruptura. O comprimento de cada sondagem foi determinado de acordo com critérios de resistência de solo ou de qualidade do maciço rochoso esperados nas investigações.

Com a caracterização do problema e os boletins de sondagens, cabe ao engenheiro projetista realizar o cálculo da estabilidade local e dos critérios de dimensionamento, incluindo fator de segurança, e verificar a estabilidade das soluções determinadas. A adesão entre o solo ou rocha e o trecho ancorado do tirante é calculado com base nas características de cada material da composição do subsolo.

São apresentados todos os memoriais de cálculos utilizados, relatórios de sondagens e acompanhamento da obra tanto por parte do projetista como por parte do engenheiro ou geólogo responsável pela execução. Em todas as etapas são emitidas Anotações de Responsabilidade Técnica (ART), assinadas pelo profissional responsável licenciado pelo CREA-SP.

### 6.3. Características das estruturas de contenção

Os tirantes instalados nos casos descritos sempre acompanham outras soluções de fundação ou contenção. O mais observado foram fundações de estacas raiz com 1,50 metros de distanciamento, para cravação vertical de perfil de aço do tipo "H" e construção de muro com uso de painel treliçado duplo e preenchimento com concreto. Cada laje do painel treliçado duplo (Figura 41) apresenta 0,18 metros de espessura (espessura do muro), com 1,49 metros de comprimento (o que justificaria o distanciamento padrão das estacas raiz). Outro exemplo foi o uso de estacas escavadas com 0,40 metros de distanciamento, com fixação de perfil de aço do tipo "H" na horizontal para suportar a instalação e protensão dos tirantes.

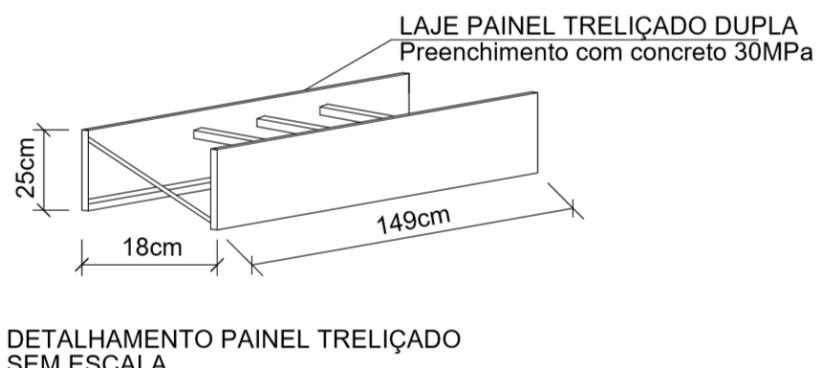


Figura 41 - Imagem do dimensionado da laje do painel treliçado duplo. Extraído de projeto de execução fornecido pela ERCAN Construtora.

Nota-se características em comum entre os projetos. O espaçamento horizontal entre os tirantes mais observado é de 1,50 metros, atingindo até 2,50 metros. Essa variação ocorre por conta do dimensionamento calculado para suporte de cada ancoragem. Portanto, em uma mesma situação de contenção, quanto maior a carga suportada por cada tirante, maior o espaçamento possível entre eles.

O espaçamento vertical depende bastante da característica individual de cada local de contenção, além da inclinação de cada furo e do substrato rochoso presente. O objetivo da instalação do tirante é que haja uma interação entre a barra de aço inserida na perfuração e o substrato rochoso, de modo que, por meio da utilização de injeção de cimento, seja possível gerar uma interação com uma porção de alta resistência do solo ou rocha, permitindo ensaios ativos de aplicação de carga para tracionamento e contenção da porção menos resistente do talude (Figura 42).

Portanto, o trecho livre tem como função transferir esforços de compressão realizados na cabeça do tirante, nos ensaios de protensão, e gerar esforços de tração entre o bulbo, que está no trecho ancorado, e o substrato rochoso. A ancoragem do tirante é realizada nas fácies de maior resistência, localizadas além da cunha de ruptura.

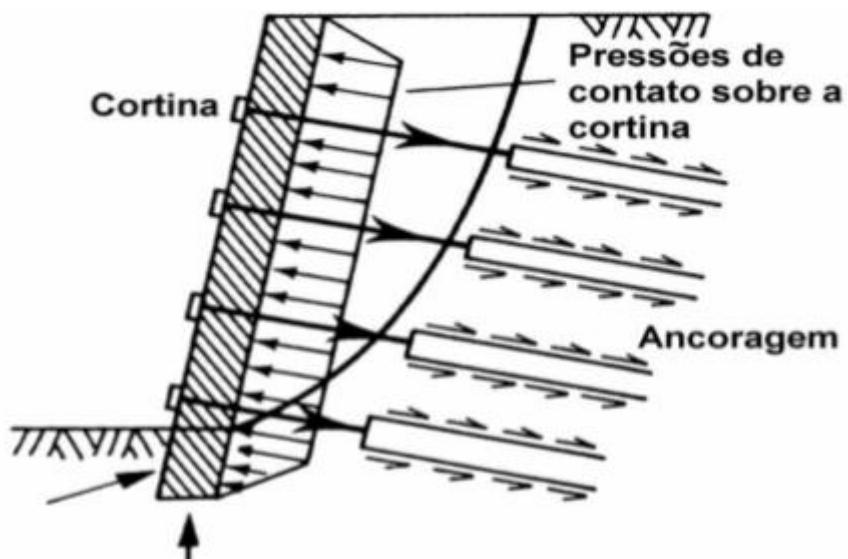


Figura 42 - Esquema de representação da interação do tirante com o substrato rochoso. Extraído de relatório de memória de cálculo fornecido pela ERCAN Construtora.

## 7. CONCLUSÕES

Este trabalho teve o intuito de realizar uma análise bibliográfica do tema de aplicações de tirantes para contenções e apresentar três exemplos de casos de aplicações realizadas no Brasil e acompanhadas em serviço de estágio. O objetivo deste estudo é auxiliar o entendimento do desenvolvimento e execução de um projeto de aplicação de estruturas de contenção.

Durante o desenvolvimento deste projeto, após a fase teórica, foram encontradas dificuldades para a obtenção de informações devido ao número de empresas envolvidas nos projetos descritos. Tais dificuldades não afetaram o desenvolvimento do trabalho e realização da análise de diversos parâmetros com todos os detalhamentos relevantes para a obtenção dos resultados apresentados.

Todas as contenções realizadas nos estudos de caso mostrados são em benefício do ser humano a fim de possibilitar, facilitar e assegurar o alcance a determinados locais. Portanto, mesmo que a aplicação de ancoragens seja utilizada a menos de um século, nota-se um grande avanço no seu método de aplicação para atender cada vez melhor as necessidades do homem e da sociedade moderna.

Para desenvolver o projeto é necessário caracterizar o problema, realizar estudos geológicos-geotécnicos, que são de extrema importância, efetuar cálculos de dimensionamento e verificação de estabilidade de talude e calcular o fator de segurança através dos diferentes métodos de análise de estabilidade para assim obter o dimensionamento e a caracterização da solução desejada.

É necessário o emprego de um engenheiro civil projetista para efetuar a memória de cálculo descrita no parágrafo acima. Além do projetista, é necessário um geólogo ou engenheiro civil de campo para acompanhar a execução da campanha de sondagem e da execução da obra em si. Além da importantíssima participação dos colaboradores que executam a obra. Todos os profissionais envolvidos, assim como a tecnologia empregada, são necessários para a otimização dos recursos empregados no projeto.

As estruturas analisadas possuíam uma área de pelo menos 80 m<sup>2</sup>, em média, com alturas superiores a 5,00 metros e uma média de 0,2 tirantes por m<sup>2</sup> ou 1 tirante a cada 5 m<sup>2</sup>. O espaçamento lateral observado é de 1,50 metros a 2,50 metros e o vertical de 2,00 a quase 4,00 metros.

Destaca-se um fator muito importante nas obras de contenção que é a questão da drenagem. Uma vez que a atuação da água possui uma enorme influência no processo de estabilidade do talude. Portanto são instaladas drenagens superficiais, que possuem o

objetivo de reduzir processos erosivos e de infiltração, e drenagens profundas que buscam redirecionar o fluxo d'água.

No desenvolvimento deste trabalho, ao caracterizar os casos estudados, foi possível identificar diversas semelhanças em suas execuções. Tais semelhanças ocorrem devido a padronização do mercado de fornecedores (e das definições estabelecidas pela ABNT) na produção dos materiais disponíveis no mercado, o que faz com que as máquinas e ferramentas sigam os padrões pré-estabelecidos. Também foi possível identificar que apesar da heterogeneidade dos solos e maciços rochosos existentes no Brasil as soluções geotécnicas utilizadas atualmente conseguem aplicações de êxito nos mais diferentes cenários.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de. *The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 48, p. 15-26, 1976. Suplemento.
- BARLEY, A. D., *Ten thousand anchorages in rock. Ground Engineering, September–November 1988*.
- BURLAND, J., Chapman, T., Skinner, H., Brown, M., *Manual of geotechnical engineering, ICE*, 2012.
- CAVALCANTE, J. C. et al. Projeto Sapucaí: Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas gerais. Brasilía: DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), 1979. 299 p. (Série Geológica (DNPM)).
- DE CARVALHO, Ancilla Maria Almeida; Vidal, Alexandre Campane; Kiang, Chang Hung. Delimitação do Embasamento da Bacia de Taubaté. Geologia USP – Serie Científica, v. 11, n.1, p. 19-32, 2011.
- DEERE, D. U. (1989). *Rock Quality Designation (RQD) After Twenty Years. National Technical Information Service*. Gainesville, Florida. 22.
- EBERT, H. Ocorrência da fácies granulíticas no Sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipótese sobre a sua origem. Anais da Academia Brasileira de Ciências, p. 215-229. 1968
- HASUI, Y.; PONÇANO, W. L. Organização estrutural e evolução na Bacia de Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. Anais... Recife: SBG, 1978. v. 1, p. 368-381.
- ISRM. (2007). *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014. (R. Ulusay, Ed.) Springer*.
- MORALES, Norberto. Evolução lito-estrutural das rochas pré-cambrianas da região de São João da Boa Vista. 1988. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988. doi:10.11606/D.44.1988.tde-23062015-135405. Acesso em: 2021-10-26.
- NBR 5629/77. Estruturas ancoradas no terreno - Ancoragens Injetadas. ABNT, 1977.
- NBR 5629/95. Execução de tirantes ancorados no terreno. ABNT, 1995.
- NBR 5629/18. Execução de tirantes ancorados no terreno. ABNT, 2018.

- NUNES, C., A.J.da ct al. Desempenho das ancoragens de reforço da Barragem do Anel de Dom Marco. In: XI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. Fortaleza. 1976.
- NUNES, C., A. J. da *First Casagrande Lecture - Ground Prestressing* . In: VIII PCSMFE. Cartagena, Colômbia. 1987.
- OLIVEIRA, M.A.H. Petrologia das Rochas Metamórficas de São José do Rio Pardo. SP. Revista Brasileira de Geocologia. 1973.
- OSTERMAYER, H. E., *Ragverhalten und Konstniklive Durchbildung. Vortragc der Baugrundtagung*, 1970.
- PIMENTEL, M. M.; JOST, H.; FUCK, R. A. O Embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES; B. B (Org.). Geologia do Continente Sul-Americanano “Uma evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida”. São Paulo: Beca, 2004. Cap. 21, p. 355-370.
- RICCOMINI, Claudio. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. 1990. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990. doi:10.11606/T.44.1990.tde-18032013-105507. Acesso em: 2021-10-23.
- YASSUDA C. T., Vieira Dias P. H., Tirantes. In: W. C. Hachich, F. F. Falconi, Saes, J. L., Frota, R. G., Carvalho, C. S., Niyama, S.; (Eds.), Fundações: teoria e prática (1998). 2º ed. 656-668. ABMS/ABEF, Ed. Pini, 1998.
- XANTAKOS, P. P., *Ground anchors and anchored structures*, John Wiley & Sons, INC., 1991.