

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – DEC

***Relatório de
Estágio Supervisionado***

ESTAGIÁRIO: JOSÉ LEONARDO FERREIRA DA CRUZ

SUPERVISOR: JOSÉ GOMES DA SILVA

ORIENTADOR: NILTON ADEMIR PEZZI

Rio de Janeiro

Abril de 2001



Biblioteca Setorial do CDSA. Julho de 2021.

Sumé - PB

ÍNDICE

<u>AGRADECIMENTOS</u>	4
<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1.0 - DISPOSIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DA OBRA</u>	6
<u>2.0 - ESTAÇÃO SIQUEIRA CAMPOS</u>	7
<u>2.1 - EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA</u>	10
<u>3.0 - TÚNEIS</u>	13
<u>4.0 - TRATAMENTO DO SOLO</u>	14
<u>4.1 - TRATAMENTO DO SOLO COM CCPH</u>	15
<u>4.2 - TRATAMENTO DO SOLO COM JET GROUTING</u>	17
<u>5.0 - REVESTIMENTO DOS TÚNEIS</u>	19
<u>5.1 - REVESTIMENTO PRIMÁRIO</u>	19
<u>5.2 - REVESTIMENTO SECUNDÁRIO</u>	20
<u>6.0 - CONCLUSÃO</u>	21
<u>7.0 - SUGESTÕES</u>	21

ÍNDICE DE FÍGURAS

<u>Fig. 1</u> - Disposição das estações no trecho Botafogo – Siqueira Campos.....	7
<u>Fig. 2</u> – Estação Siqueira Campos.....	8
<u>Fig. 3</u> – Estação Siqueira Campos.....	9
<u>Fig. 4</u> – Contorno da estação Siqueira Campos.....	9
<u>Fig. 5</u> – Esquema simplificado das lamelas (vista superior).....	9
<u>Fig. 6</u> – Mureta guia.....	10
<u>Fig. 7</u> – Clamshell.....	11
<u>Fig. 8</u> – Gaiolas metálicas.....	12
<u>Fig. 9</u> – Demolição das paredes do poço 4.....	14
<u>Fig. 10</u> – Perfuratriz executando colunas de CCPH.....	16
<u>Fig. 11</u> – Configuração das colunas de CCPH após término do tratamento.....	16
<u>Fig. 12</u> – Perfuratriz entrando na via 1 do poço 2.....	17
<u>Fig. 13</u> – Perfuratrizes fazendo o tratamento do solo.....	18
<u>Fig. 14</u> – Cambotas metálicas.....	20
<u>Fig. 15</u> – Formas para o revestimento secundário e telas metálicas ao alto.....	20



AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de ingressar neste estágio, que para mim foi bastante proveitoso.

Aos meus pais Geraldo Ferreira da Cruz e Rita Nobre da Cruz que souberam me dar o devido apoio, nos momentos em que precisei.

Agradeço ao meu grande mestre ao qual tenho muito respeito e grande admiração, Nilton Ademir Pezzi que nesses últimos meses de estágio supervisionado me acompanhou e soube me orientar e tirar as minhas dúvidas como ninguém, Clóvis Renato Numa Peixoto Primo que me deu a grande oportunidade de poder fazer este estágio e Fernando Carlos Carvalho Júnior pelos seus votos de confiança que depositou em mim.

Aos meus colegas de profissão Drs. Batista, Luiz Jaques, Frederico, Zavataro, Cauê, João Júnior, Petraco, Marcelo, e Celestino.

Não posso esquecer de mencionar também a grande ajuda e os conhecimentos que recebi ao longo deste período dos meus amigos que fiz nesta obra, João Ascídio, Valmir Grando, Elmio, Elaine, Hamilton, Balisa, Gilberto, Tadeu, Jamir, Olavinho, Acácio, Geraldo, Joãozinho, Adair, Nogueira, Dirson, Pedro Lopes, Ademir, “Chico” (carpintaria), Tião Maia, Zé Milton, “Maranhão”, Jesus, Adaian, Douriequison, Gilvan, Edson, Paulo Roberto, Marcelo, Pedro (manutenção), Cláudio Manhães, Marcelo Manhães, Marcelo Quirino, Hélio, Renato, “Carioca”, Leonardo (apropriação), “Cipó”, Camilo, “Pato”, Paulo (topografia), Edson (segurança), Valdeci, e Renato Laranjeira.

APRESENTAÇÃO

O presente relatório trata do estágio supervisionado feito por José Leonardo Ferreira da Cruz, no período de 13 de março de 2001 até 16 de abril de 2001, na cidade do Rio de Janeiro no estado de mesmo nome, totalizando um total de **220** horas.

A obra em que foi realizado este estágio, é uma expansão do metrô da cidade do Rio de Janeiro. A mesma iniciou-se em dezembro de 1999 e tem como previsão de término meados de 2002. Este trecho que será expandido tem uma extensão de 693 m.

A empresa responsável por esta obra é a Construtora Andrade Gutierrez S.A., com sede em São Paulo, porém como se verá mais adiante esta não é auto-suficiente em todos os seus serviços, por isso foram contratadas sub-empresas para completarem os serviços da obra.

Uma grande vantagem do transporte feito por metrô, é a sua facilidade de locomoção (diferentemente do transporte feito por veículos que enfrentam diariamente grande volume de tráfego em uma cidade de grande porte como o Rio de Janeiro). De metrô, chega-se de um ponto ao outro da cidade em questão de minutos. O metrô apresenta outras vantagens tais como: segurança nas estações (local onde embarcam e desembarcam passageiros), carros com ar condicionado, (tornando assim mais agradável o ambiente para os passageiros), limpeza, etc.

Como desvantagem, pode-se citar o elevado custo para implementação deste meio de transporte. Outra desvantagem, porém agora para os usuários, é o custo do bilhete, um pouco mais alto que o bilhete do transporte coletivo convencional (ônibus).

1.0 - DISPOSIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DA OBRA

Esta disposição está compreendida da seguinte forma:

No bairro de Botafogo encontram-se as dependências do alojamento para os funcionários da empresa e refeitório para os mesmos, o escritório da empresa, o almoxarifado que é responsável pela entrada e saída de materiais da obra, o centro de manutenção que, como o próprio nome diz, é responsável pela manutenção dos diversos equipamentos da obra (escavadeiras, retro-escavadeiras, caminhões plataforma, caminhões basculante e tratores, entre outros), a carpintaria que tem como uma de suas funções montar algumas das formas de madeira que são usadas na obra. Tem-se ainda o setor de armação onde estão dispostas as ferragens. Neste local os ferros são cortados e dobrados e depois são transportados para o canteiro de obras.

A obra mesmo está situada ao longo de um trecho de 693m no bairro de Copacabana. A mesma tem o nome de MCO3 (Metrô de Copacabana unidade 3), pois já haviam sido feitos anteriormente dois outros trechos situados neste mesmo bairro. A estação que está sendo executada é denominada Siqueira Campos em virtude da mesma ser vizinha a uma rua principal de mesmo nome.

Na Fig.1, encontram-se as duas últimas estações já construídas do Metrô do Rio de Janeiro no sentido zona norte – zona sul, as estações de Botafogo situada no bairro de mesmo nome e a ~~estação~~ de Cardeal Arcoverde, situada já no bairro de Copacabana. A última mostrada nessa figura é a futura estação Siqueira Campos, onde está sendo executada uma parte da obra. A outra parte da obra é a escavação dos túneis.

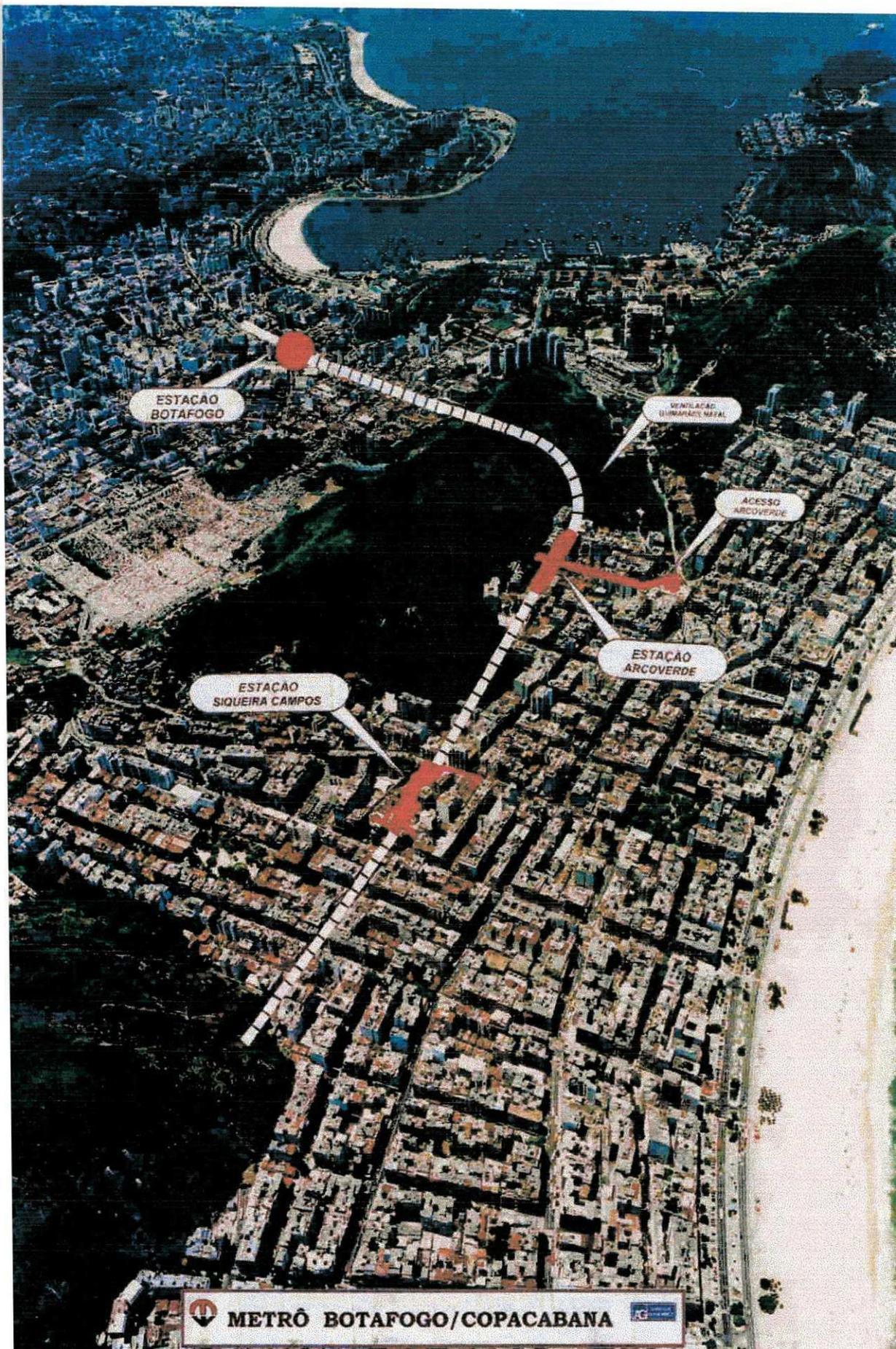


Fig. 1 -
 Disposição
 o das
 estações
 no trecho
 Botafogo
 -
 Siqueira
 Campos.
2.0 -
ESTACÃO
SIQUEIRA
CAMPOS

A
 estação
 Siqueira
 Campos é
 o local de
 embarque
 e
 desembarque
 de
 passageiros.
 A
 mesma
 está
 sendo
 construída
 dentro
 do bairro
 de
 Copacabana.
 O

método de construção adotado é o "cut and cover" invertido. Para sua construção foi necessário a

V

desapropriação e demolição de vários imóveis e residências, dentre eles um posto médico e um batalhão da Polícia Militar (a construtora se encarregou de construir as novas dependências destes dois últimos em um outro local dentro do mesmo bairro). Estas desapropriações num certo momento provocaram um atraso da obra, pois não havia um consenso nas negociações entre moradores e companhia do metrô.

Nas Figuras 2 e 3 está mostrado o local onde está sendo construída a estação Siqueira Campos, e seu contorno está mostrado na figura 4. As paredes da estação são formadas pela união de várias lamelas (ao conjunto dessas lamelas deu-se o nome de **parede diafragma**), sendo que uma lamela se encaixa na outra. Estas lamelas são estruturas de concreto armado com 0,80 m de largura, 2,0 m de comprimento e 25,0 m de profundidade.



Fig. 2 – Estação Siqueira Campos.

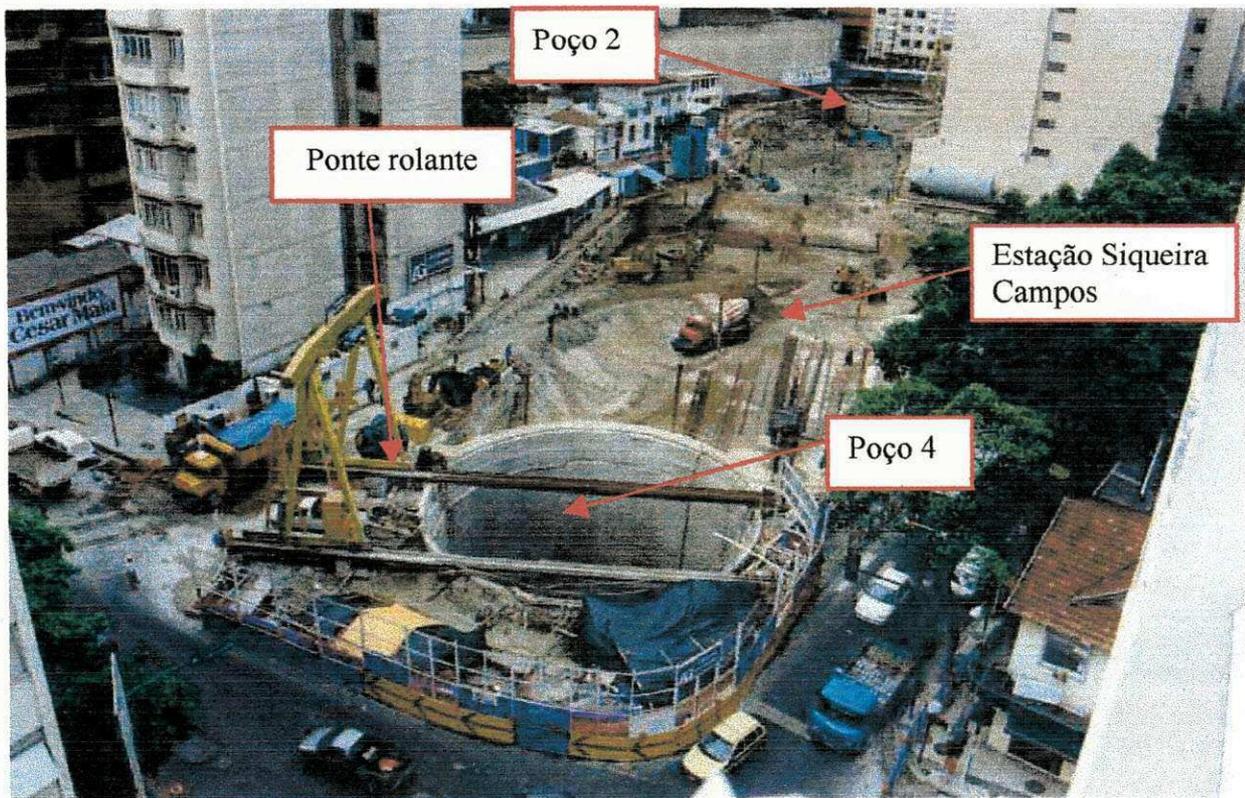


Fig. 3 – Estação Siqueira Campos.

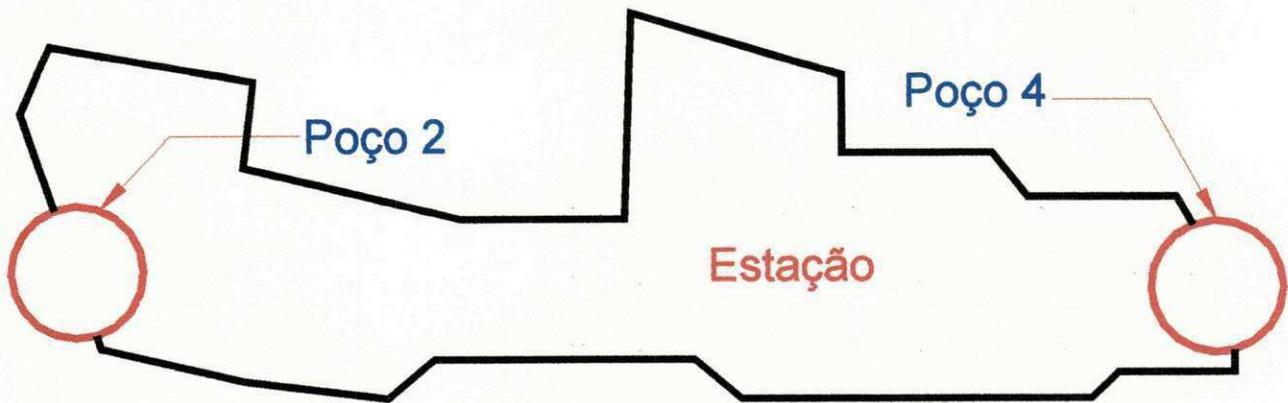


Fig. 4 – Contorno da estação Siqueira Campos.

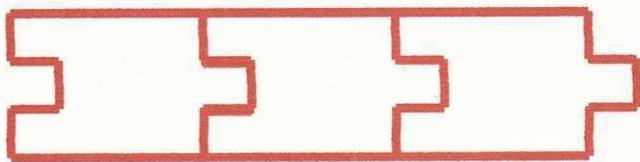


Fig. 5 – Esquema simplificado das lamelas (vista superior).

2.1 - EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA

Como dito anteriormente, a parede diafragma é formada pelo conjunto de várias lamelas, unidas entre si através de um “dente”. A construção de uma dessas unidades fundamentais da parede da estação a lamela, segue um conjunto de processos que basicamente são os seguintes:

1) Execução da parede guia

A parede guia ou mureta guia, é uma estrutura de concreto armado, que serve para orientar a direção de escavação do clamshell (Fig.7). Este é um equipamento metálico de grandes dimensões que tem em sua extremidade inferior mandíbulas de aço que fazem o trabalho de escavação do solo, sendo que a largura do clamshell é a mesma da lamela. A mureta guia serve ainda de apoio para as “gaiolas metálicas”, sendo estas a armadura das lamelas (Fig.8).

A execução da mureta guia é basicamente a seguinte:

- a) Inicialmente, com o auxílio de uma retro-escavadeira, abre-se uma vala com largura um pouco maior que a da lamela;
- b) São feitas as formas da parede guia;
- c) Colocam-se as armaduras da mureta;
- d) Finalmente, com um caminhão betoneira, concretam-se a parede guia.



Fig. 6 – Mureta guia.

2) Escavação da lamela

Terminada a concretagem da mureta guia, espera-se em média 24 horas para o endurecimento do concreto da mesma e aí então faz-se a desforma. A partir daí parte-se para a fase de escavação da lamela que é feita basicamente da seguinte forma:

- a) Inicialmente injeta-se lama bentonítica na vala, até aproximadamente 50 cm abaixo do topo da mureta. O objetivo de se colocar essa lama é evitar que haja desmoronamento de terra no momento da escavação;
- b) Através de um guindaste, ergue-se e desce-se repetidamente o clamshell, para que o mesmo possa ir enchendo sua concha aos poucos. Após alguns sobe e desce do clamshell, ergue-se totalmente o mesmo já com sua concha cheia, e despeja-se o material escavado em um caminhão basculante;
- c) À medida que se retira o material escavado, o nível de lama bentonítica tende a baixar. Por essa razão, é necessário que se continue bombeando lama bentonítica para que o nível da mesma se mantenha constante;
- d) Repete-se os passos 2 e 3 até que se alcance a profundidade de projeto.

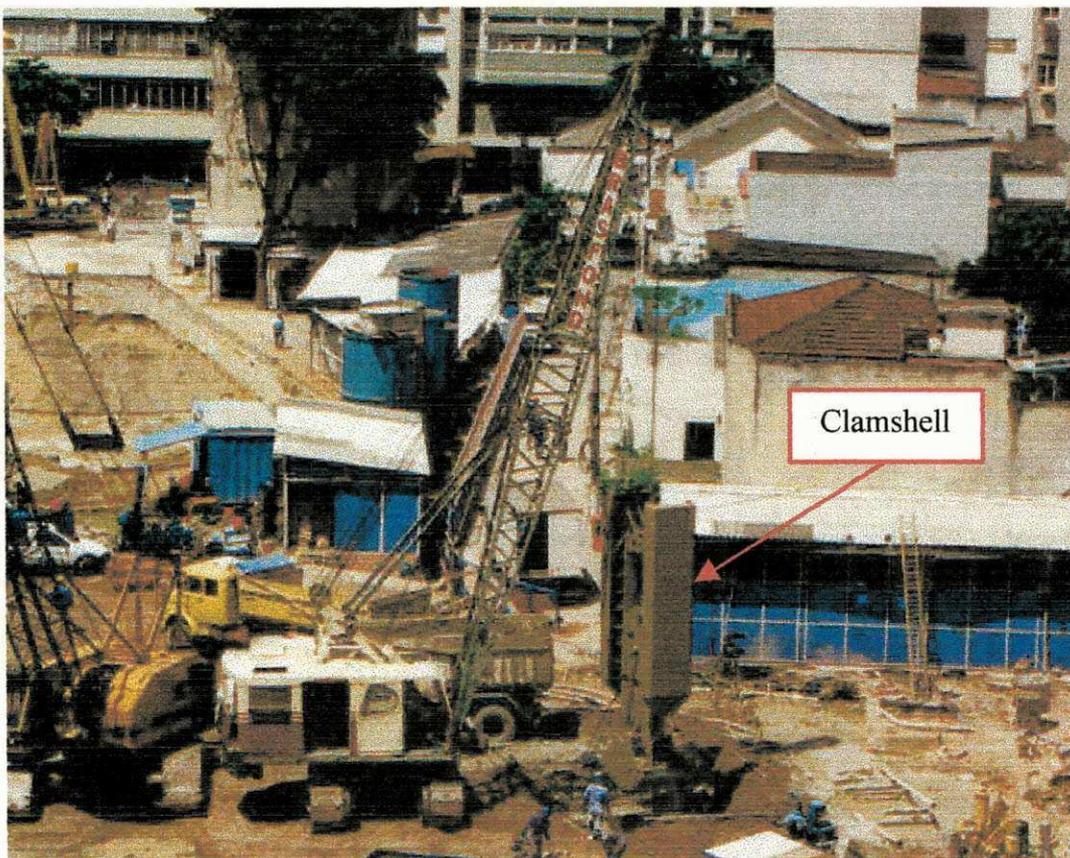


Fig. 7 – Clamshell.

3) Colocação da armadura



Encerrada a fase de escavação, parte-se para a colocação das gaiolas (armaduras de aço) que é feita basicamente do seguinte modo:

- a) Inicialmente prende-se o cabo de aço do guindaste entre o topo da armadura e seu centro;
- b) Em seguida ergue-se a armadura e começa-se a desce-la na vala escavada;
- c) Feito isto, um funcionário coloca uma barra metálica por dentro da gaiola de tal forma que, ao se continuar descendo a armadura, esta para ao se apoiar na mureta guia;
- d) Então se transfere o ponto de amarração do cabo de aço na gaiola do ponto em que estava para o seu topo;
- e) Agora, continua-se descendo a gaiola, até a cota de projeto;
- f) Todo esse processo é feito com a presença de lama bentonítica, que será necessária também nas próximas etapas;
- g) A cota de projeto da gaiola é verificada por uma equipe de topógrafos, sendo às vezes necessário subir ou descer a gaiola alguns centímetros de sua posição inicial.



Fig. 8 – Gaiolas metálicas.

4) Concretagem

Concluída a etapa de colocação das gaiolas, parte-se então para a fase final, a concretagem que é feita essencialmente da seguinte forma:

- a) Primeiramente com auxílio de um guindaste, coloca-se dentro da vala um perfil metálico em forma de “U” de comprimento igual ao da lamela, para que a mesma possa ter o seu “dente de encaixe” com a lamela vizinha;
- b) Através de um guindaste, coloca-se um tubo tremonha na vala, por onde irá passar o concreto;
- c) Com um caminhão betoneira, despeja-se o concreto no tubo tremonha. Ao mesmo tempo, o guindaste faz um movimento de sobe e desce do tubo tremonha, para que o concreto possa se espalhar pelo fundo da vala;
- d) À medida que a concretagem prossegue, o nível da lama bentonítica tende a subir e transbordar, por isso é necessário que haja bombeamento ininterrupto para que se mantenha o nível de lama constante.

3.0 - TÚNEIS

São duas as vias do túnel em solo. As mesmas na obra são denominadas de Via 1 e Via 2. A razão da construção de duas vias é bastante simples. O trem percorre uma via sempre em um mesmo sentido. Na outra via ocorre o mesmo, porém em sentido contrário.

A escavação dos túneis em solo é, sem dúvida, a etapa de construção do metrô que requer mais cuidados. Esta operação se torna bastante laboriosa devido principalmente os trechos em que o túnel passa justamente por baixo das fundações dos edifícios e não como em outros no qual passa por baixo de ruas.

Para adiantamento da obra, a escavação dos túneis não é feita a partir apenas de um único local. Para isso foram construídos dois poços de 17 m de diâmetro ~~de~~ 15 m de profundidade e um outro de 9 m de diâmetro e 15 m de profundidade.

Os dois poços de diâmetro maior são mostrados na figura 3. A sua execução é basicamente a mesma da parede diafragma, com a diferença que somente as metades das paredes dos poços voltadas para fora da estação são formadas por lamela armadas. As duas outras metades são temporárias (na fig. 9 está mostrado uma fase da demolição das paredes do poço 4). Por esta razão, são formadas apenas por argamassa. O terceiro poço, de diâmetro menor, está mostrado na figura 13. Suas paredes são formadas exclusivamente de argamassa, já que nenhum trecho das mesmas

será aproveitado na etapa final do metrô, como será o caso dos outros dois poços (as metades das paredes desses dois poços faz parte das paredes da estação). Para demolição das paredes dos poços foram locados retro-escavadeiras com rompedores hidráulicos de altíssimo impacto que são montados em suas extremidades no local de suas conchas como mostrado na figura 9.

Esses poços basicamente são dotados de um elevador para transporte dos operários, um poço de decantação, uma escada reserva caso haja interrupção do elevador por alguma pane no mesmo, e uma ponte rolante de 10 t de capacidade que faz o transporte vertical de materiais.

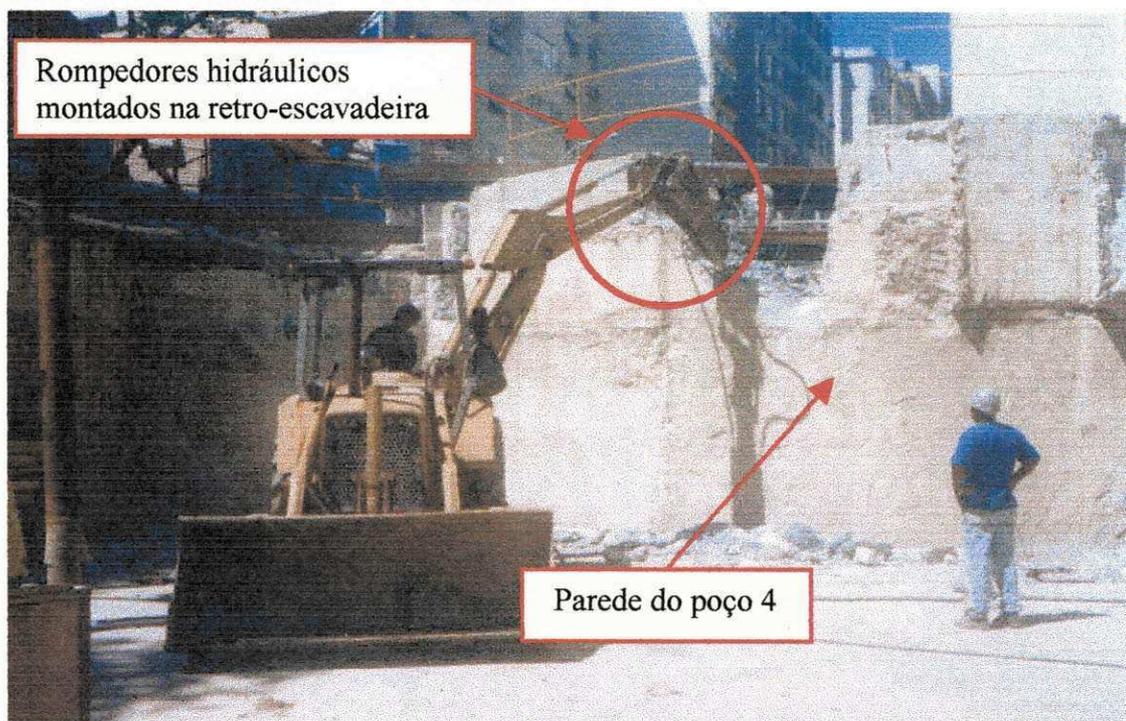


Fig. 9 – Demolição das paredes do poço 4.

4.0 - TRATAMENTO DO SOLO

Na maior parte do trecho a ser escavado o tipo de solo ocorrente é o solo residual, que apresenta assim baixa resistência. Somente em alguns trechos ocorre terreno rochoso. Por esta razão, a escavação requer uma série de processos para execução com plena segurança. Dentre esses processos merecem destaque dois: os tratamentos de consolidação do solo com CCPH, e com Jet Grouting. Estes tratamentos tem também como propósito tornar impermeável o solo.

4.1 - TRATAMENTO DO SOLO COM CCPH ✓

O tratamento com CCPH foi projetado para consolidação e impermeabilização ao longo do túnel. É executado por dentro da seção de túnel quando o tratamento pela superfície não é possível, devido a prédios ou vias com grande volume de tráfego.

Este trabalho é necessário para que se possa escavar o solo com segurança, já que na maior parte do trecho a ser escavado o tipo de solo é residual e não apresenta boa resistência.

Este método de consolidação do solo é feito basicamente da seguinte forma:

Inicialmente a equipe de topografia com base no projeto de tratamento de solo com CCPH, marca com pregos e tinta junto ao contorno da seção, os diversos furos que serão feitos na cabeceira do túnel. Os furos são executados com as mesmas características, mas, em geral, os furos superiores são mais extensos.

- a) Após os furos estarem marcados, posiciona-se a máquina perfuratriz (esta possui esteiras rolantes) de tal forma que possa ser executado o primeiro furo;
- b) Inicialmente a máquina faz apenas a perfuração do furo. Esta não é feita a seco: à medida que a broca da extremidade da haste gira e vai perfurando o solo, injeta-se água, que passa através de um orifício na ponta da broca, fazendo com que dessa forma o material escavado seja expulso do furo pelo espaço anelar entre este e a broca;
- c) Finalizada a perfuração, inicia-se a etapa de injeção de calda de cimento (fator A/C = 1). Esta calda é injetada à altíssima pressão (entre 300 e 400 kgf/cm^2), graças ao trabalho de uma bomba de elevada potência. 2,2 MPa
- d) Como resultado da injeção da calda sob elevada pressão, esta se mistura com o solo ao seu redor, e formando colunas aproximadamente cilíndricas de 50 cm a 60 cm de diâmetro dependendo da pressão de injeção e do tipo de solo encontrado;
- e) Após o término da injeção, um operário tapa o furo com uma bucha de saco de cimento molhado, em volta de um tampão de madeira de forma cônica;
- f) Repete-se os passos anteriores até que sejam injetados todos os furos do referido plano de partida (nome dado a todos os furos pertencentes a uma mesma calota esférica de fechamento).

Este tratamento é feito por uma empresa especializada neste tipo de serviço chamada Novatecna Consolidações e Construções S.A., com auxílio de funcionários da Construtora Andrade Gutierrez. Este serviço é bastante oneroso, cada coluna chegar a consumir de 30 a 70 sacos de cimento. Além disso, há o problema gerado pelo refluxo (lama de água com solo no momento da

perfuração e lama de calda de cimento no momento da injeção). O refluxo é bombeado para caçambas que são içadas pela ponte rolante e despejadas em caminhões pipa.

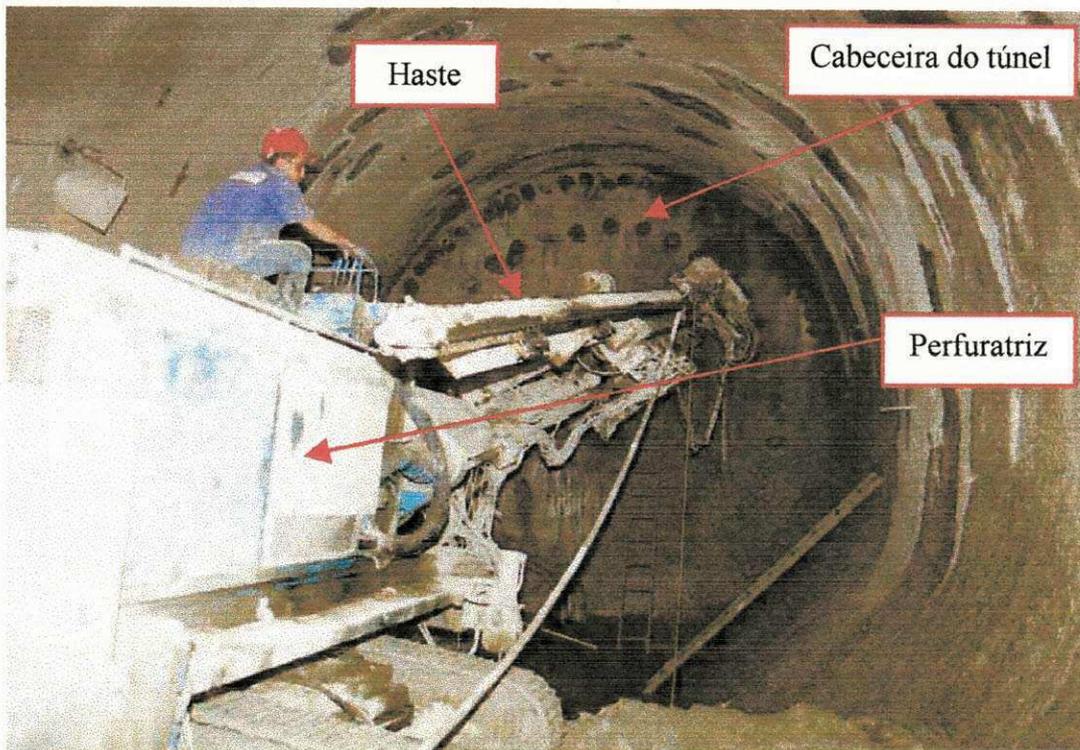


Fig. 10 – Perfuratriz executando colunas de CCPH.

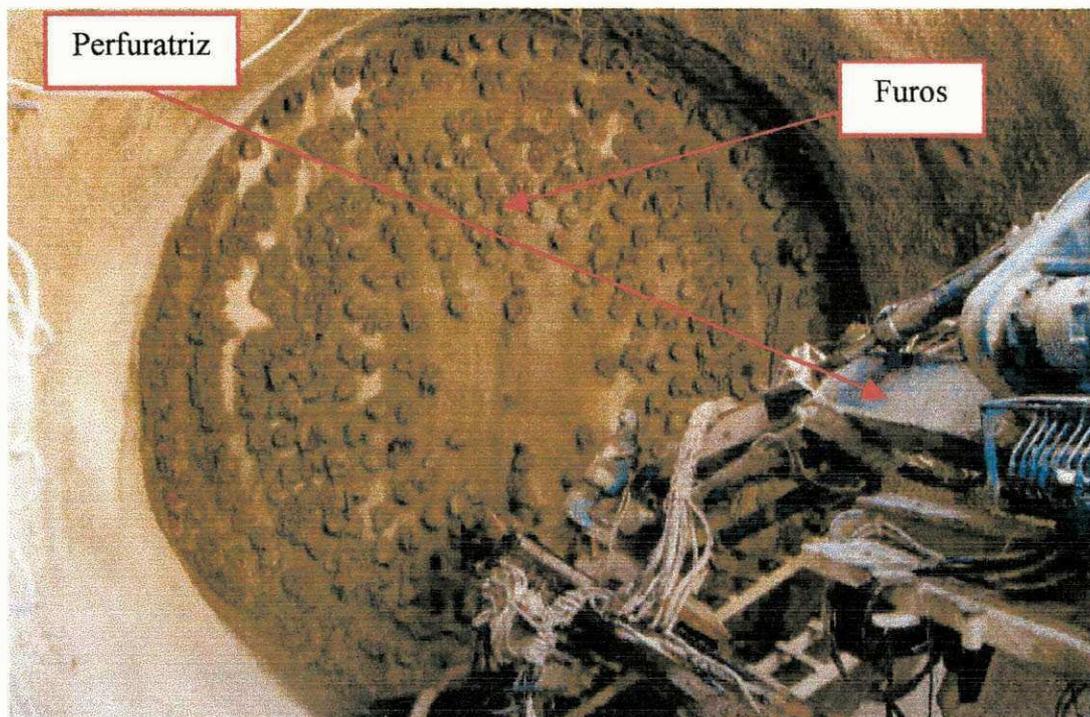


Fig. 11 – Configuração das colunas de CCPH após término do tratamento.

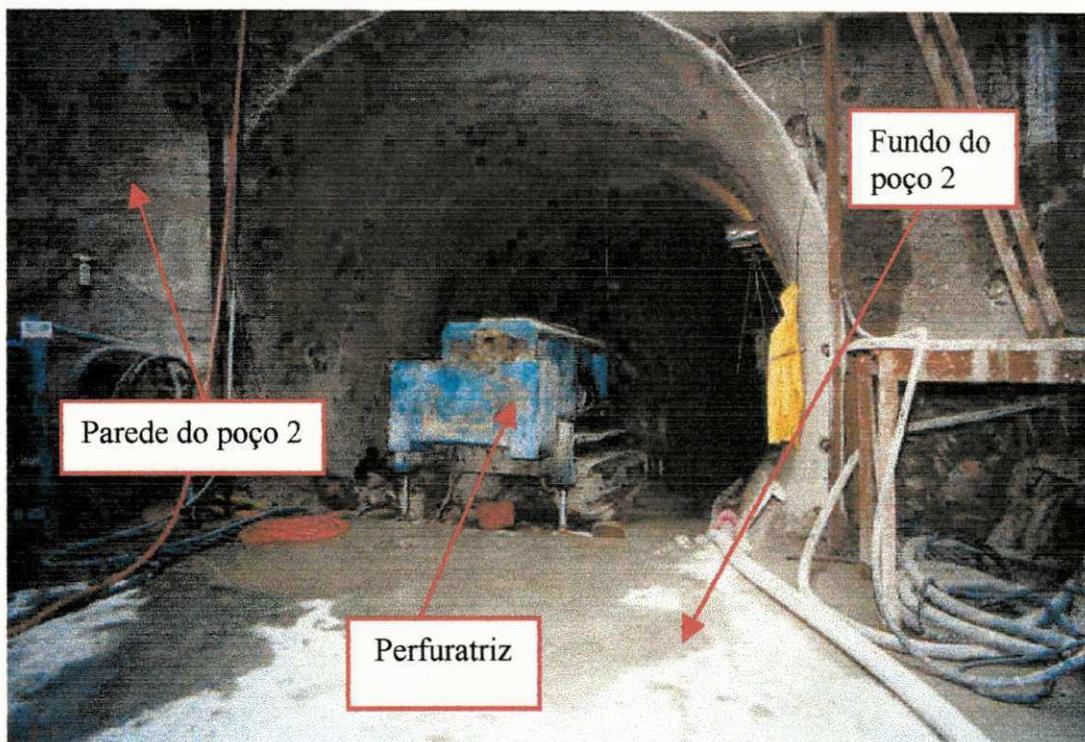


Fig. 12 – Perfuratriz entrando na via 1 do poço 2.

4.2 - TRATAMENTO DO SOLO COM JET GROUTING

Este tratamento é bastante semelhante ao com CCPH, com a diferença fundamental de que os furos são feitos pela superfície do terreno (são verticais e inclinados), e o diâmetro das colunas é de 1.20 m. Este tratamento é feito por uma empresa especializada neste tipo de serviço chamada Brasfond S.A., sendo auxiliada por funcionários da Construtora Andrade Gutierrez.

Na fase de perfuração usa-se o método dos 2 fluidos, ou seja, o jato de água é envolvido por ar comprimido.

Os parâmetros adotados no tratamento são os seguintes:

- a) A perda de carga através da linha é da ordem de 1,0 a 3,0 MPa, dependendo da distância do equipamento à bomba;
- b) A pressão utilizada no jato da mistura é da ordem de 32 MPa;
- c) A pressão da água na perfuração é da ordem de 28 MPa;
- d) A pressão do ar comprimido utilizado é 0,7 MPa;

- N
- e) A velocidade de ascensão da composição vai de 20 cm/min até 24 cm/min, dependendo do tipo de solo;
 - f) A velocidade de rotação da composição vai de 4,62 rpm a 5,68 rpm, dependendo do tipo de solo encontrado;
 - g) Fator água cimento = 1;
 - h) O tipo de cimento é o CP II (injeção em areia) e o CP V (injeção em argila).

O maior problema que surge com esse tipo de tratamento são as interferências que ocorrem na direção das colunas. Essas interferências são redes de água potável, esgoto, águas pluviais, gás telefone e alta tensão. Por essa razão, adota-se também colunas inclinadas, que desviam dessas interferências.

Esse tipo de trabalho mudou completamente a rotina da comunidade da área. Em determinado trecho (rua Tonelero), as vias do túnel estão passando por baixo da rua. Como o tratamento com Jet Grouting está sendo executado pela superfície é necessário interditar determinada faixa da rua para que se possa executar o serviço.



Fig. 13 – Perfuratrizes fazendo o tratamento do solo.

5.0 - REVESTIMENTO DOS TÚNEIS

Os tratamentos com CCPH e Jet Grouting são os revestimentos mais externos dos túneis. Depois deles os túneis são escavados e executados dois revestimentos: o primário e o secundário.

5.1 - REVESTIMENTO PRIMÁRIO

Finalizado o tratamento do solo, inicia-se a etapa de escavação do túnel (a mesma é feita através do uso de rompedores). Escava-se 80 cm de profundidade de avanço horizontal e coloca-se uma estrutura metálica chamada cambota (fig. 14). Após conferência de posição da cambota feita pela equipe de topografia, libera-se a mesma e faz-se então um preenchimento dessas cambotas com concreto projetado que é um concreto formado por cimento, areia, brita 0 (zero) e aditivo acelerador de pega. Feito isto, escava-se mais 80 cm para colocação da próxima cambota e assim prossegue-se até a colocação da oitava cambota, de acordo com o projeto de túneis da obra.

Após a colocação das oito cambotas prende-se com chumbadores uma malha de tela metálica (fig 15) ao redor do arco superior do túnel ao longo da extensão de oito cambotas preenche-se então esta tela com concreto projetado. Finalizada a camada superior repete-se o processo para a inferior.

Esta malha de tela metálica com concreto projetado forma uma camada a qual dá-se o nome de revestimento primário.

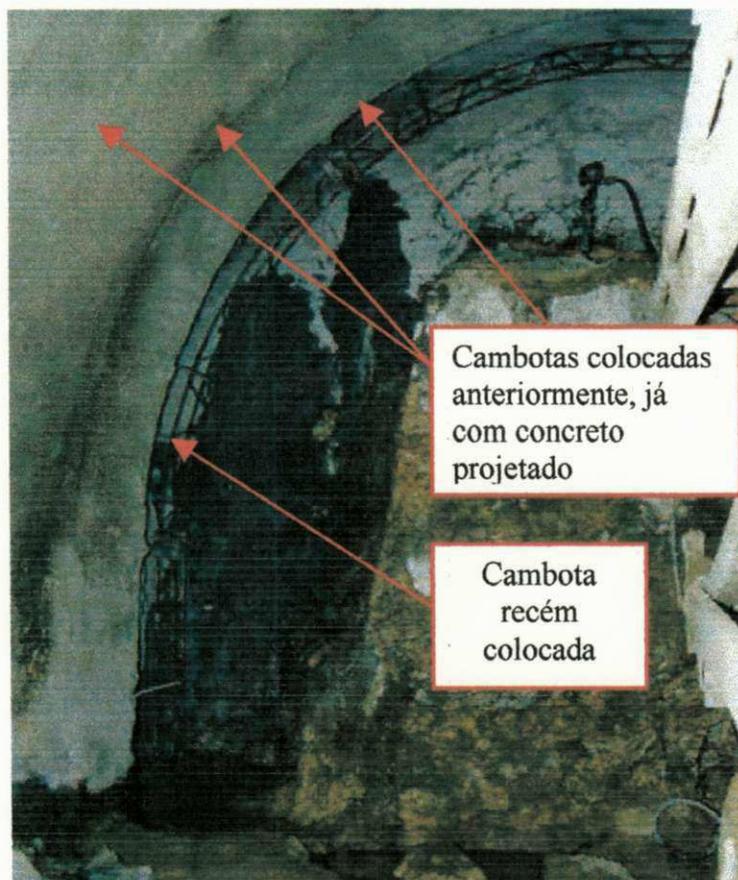


Fig. 14?

Fig. 14 – Cambotas metálicas.



Fig. 15 – Formas para o revestimento secundário e telas metálicas ao alto.

5.2- REVESTIMENTO SECUNDÁRIO

O revestimento secundário é feito de forma semelhante com a diferença que este apresenta duas camadas de tela metálica e possui seção transversal mista, ou seja, apenas uma pequena parte é formada por concreto projetado. A maior parte é composta por concreto moldado, sendo feita em cinco etapas.

