



FATEC – SP

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Departamento de Transportes e Obras de Terra

FELIPE ARTUR BERNARDO FERREIRA

**TOPOGRAFIA SUBTERRÂNEA:
CONTROLE DA EXECUÇÃO DE OBRAS METROVIÁRIAS**

**SÃO PAULO
2015**

FELIPE ARTUR BERNARDO FERREIRA

**TOPOGRAFIA SUBTERRÂNEA:
CONTROLE DA EXECUÇÃO DE OBRAS METROVIÁRIAS**

Projeto de Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Tecnólogo em Construção Civil na Modalidade de Movimento de Terra e Pavimentação.

Orientador: Prof. Me. Décio Moreira

**SÃO PAULO
2015**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Mayana, e meus filhos Vinicius e Manuella. Aos professores da Faculdade de Tecnologia de São Paulo e àqueles que me apoiaram na construção deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a compreensão da minha família pela minha ausência, ao apoio dos professores da Faculdade de Tecnologia de São Paulo e em especial ao Engenheiro Cláudio Dias Cabral e ao Engenheiro Waldir José Giannotti da CMSP.

EPÍGRAFE

"[Os livros] Permitem que pessoas há muito tempo mortas falem dentro de nossas cabeças. Os livros podem nos acompanhar por toda parte. Pacientes quando custamos a compreender, eles nos deixam rever as partes difíceis quantas vezes desejarmos, e jamais criticam nossos lapsos. Os livros são essenciais para compreender o mundo e participar de uma sociedade democrática."

Carl Sagan

"Tenha em mente que tudo que você aprende na escola é trabalho de muitas gerações. Tudo isso é posto em sua mão como sua herança para que você receba-a, honre-a, acrescente a ela e, um dia, fielmente, deposite-a nas mãos de seus filhos".

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho voltou-se para os métodos e procedimentos para a execução de poligonais subterrâneas, destinadas a escavação de túneis metroviários, rodoviários e assemelhados, focando a precisão e acurácia na medição de direções. A pesquisa apresenta breve histórico do desenvolvimento da rede de referência da CMSP com algumas definições importantes ao entendimento dos termos. A locação da obra em suas principais etapas como triangulação planimétrica, transporte de direção para nível subterrâneo, implantações das poligonais e rede de referência, implantação e locação das obras com levantamento das interferências existentes. Apresenta instrumentos topográficos como scanner a laser, nível digital, estação total robotizada e estação total bem como, aplicações da obra. Também evidencia a importância do controle tecnológico em obras metroviárias devido ao grande porte e os riscos envolvidos na execução em região urbanizada e populosa.

Palavras chave: Topografia subterrânea. Obras metroviárias.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fechamento da Poligonal	9
Figura 4.1 – Locação por Triangulação	18
Figura 4.2 – Fechamento da Poligonal Triangular	20
Figura 4.3 – Monografia do RN	21
Figura 4.4 – Ponto da Poligonal Auxiliar	22
Figura 4.5 – Transporte do Azimute para nível subterrâneo	23
Figura 4.6 – Transporte do Azimute para nível subterrâneo	24
Figura 5.1 – Poço Testemunha	32
Figura 5.2 – Região Pressurizada	34
Figura 5.3 – Anteparos do Emissor do Laser	35
Figura 5.4 – Emissão do Laser	35
Figura 5.5 – Controle da Emissão do Laser	36
Figura 5.6 – Leitura da poligonal no nível subterrâneo	37
Figura 5.7 – Túnel Escavado pelo Método <i>Shield</i>	38
Figura 5.8 – Gabarito Dinâmico	39
Figura 5.9 – Polígono de tolerância	40
Figura 5.10 – Poligonal pela lateral do túnel	42
Figura 5.11 – Poligonal de verificação de desvios	43
Figura 5.12 – Direcionamento do Emissor Laser	45
Figura 5.13 – Seção do Túnel com Posição dos Pinos Gabaritos	46
Figura 5.14 – Detalhe do Pino Gabarito	47
Figura 5.15 – Primeira Etapa	49
Figura 5.16 – Segunda Etapa	50
Figura 5.17 – Terceira Etapa	51
Figura 5.18 – Quarta Etapa	52
Figura 6.1 – Scanner a Laser I-SiTE em Timbopeba	54
Figura 6.2 – Quatro Tomadas Compondo um Talude	57
Figura 6.3 – Triangulação do Talude Instável de Quartzito	58
Figura 6.4 – Triangulação de Tomada Feita no Fim de uma Galeria	59
Figura 6.5 – Triangulação da Pilha de Minério	59
Figura 6.6 – Comparativo entre Laser Scanner e Equipe topográfica	60
Figura 6.7 – Nível Digital – Leica DNA	61
Figura 6.8 – Características Gerais	62
Figura 6.9 – Nível Digital no Campo	63
Figura 6.10 – Irradiação dos Pontos Notáveis	63
Figura 6.11 – Correção da Curvatura da Terra	64
Figura 6.12 – Comparativo entre Nível Digital e Óptico	64
Figura 6.13 – Robótica	65
Figura 6.14 – Emissão do Laser	66
Figura 6.15 – Placa do Alvo do Laser	67
Figura 6.16 – Rastreamento do Laser	68
Figura 6.17 – Transferência de Dados	69
Figura 6.18 – Visualização Tridimensional	70
Figura 6.19 – Estação Total	72

LISTA DE ABREVIATURA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CMSP	Companhia do Metropolitano de São Paulo
GPS	Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global
PMSP	Prefeitura do Município de São Paulo
RN	Referência de Nível
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
NATM	Novo Método de Tunelamento Austríaco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo	2
1.2	Justificativa	2
1.3	Metodologia	3
2	HISTÓRICO DA REDE DE REFERÊNCIA DA CMSP	4
3	DEFINIÇÕES	10
3.1	Anel:.....	10
3.2	Anteparo:	10
3.3	Aparelho de Mudança de Via (AMV):	10
3.4	Apoio Topográfico Altimétrico:	10
3.5	Apoio Topográfico Planialtimétrico:	10
3.6	Avanço:.....	11
3.7	Bandeirola:	11
3.8	Base de Primeira Ordem:	11
3.9	Calota ou Abóbada:	11
3.10	Cambota:	11
3.11	Cambota Gabarito:	11
3.12	Chave:.....	11
3.13	Concreto Projetado:.....	12
3.14	Croqui:.....	12
3.15	Estaca Metálica:	12
3.16	Gabarito Dinâmico ou Gabarito de Livre Passagem:.....	12
3.17	Invert:	12
3.18	Método de Direções:	12
3.19	NATM (New Austrian Tunneling Method):	13
3.20	Palanque ou Console:	13
3.21	Placa Landi:.....	13
3.22	Poço de Emboque:.....	14
3.23	Poço Testemunha:	14
3.24	Poligonal Principal ou Básica:	14
3.25	Poligonal Secundária ou de Locação:	14
3.26	Ponto:	14
3.27	Pontos Cotados:.....	14
3.28	Ponto Notável:.....	15
3.29	Ponto Polar ou Ponto Auxiliar:	15
3.30	Ponto de Segurança (PS):.....	15
3.31	Rebaixo:	15
3.32	Rede de Referência de Nível Metroviário:.....	15
3.33	Rede de Triangulação e/ou Trilateração:	15
3.34	Shield (Tatuzão ou TBM):	15
3.35	Terceiro Trilho:	16
3.36	Triângulo de Restituição ou Grapa:	16
3.37	VCA (Vala a Céu Aberto).....	16
4	LOCAÇÃO DA OBRA	17
4.1	Triangulação Planimétrica	18
4.2	Transporte de Direção para o Nível Subterrâneo.....	22
4.3	Implantação das Poligonais	25

4.4	Implantação da Rede de Referência Altimétrica	25
4.5	Levantamento Cadastral	26
4.6	Implantação da Obra	26
4.7	Implantação do Canteiro de Obra	27
4.8	Levantamento das Interferências	27
4.9	Locação de Diferentes Tipos de Obras	28
4.10	Túneis	28
4.11	Vala a Céu Aberto (VCA) / Estações / Edificações	29
4.12	Pátios	30
4.13	Sistema Viário	30
5	CONTROLE DA EXECUÇÃO	31
5.1	Poço Testemunha	31
5.2	Vala a Céu Aberto (VCA) / Estações / Edificações	33
5.3	Transporte de Direção para a Região Pressurizada	33
5.4	Dirigibilidade do Shield	34
5.5	Tolerâncias Topográficas	38
5.6	Programa e Montagem dos Anéis	41
5.7	Levantamento dos Anéis Montados	42
5.8	Controle na Execução do Túnel em Shield	44
5.9	Controle na Execução do Túnel em NATM	45
5.10	As Built do Túnel em Shield	47
5.11	As Built do Túnel em NATM	48
5.12	Arco Invertido “Invert”	48
5.12.1	Primeira Etapa	48
5.12.2	Segunda Etapa	49
5.12.3	Terceira Etapa	50
5.12.4	Quarta Etapa	51
6	INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS	53
6.1	Scanner a Laser I-SiTE	53
6.1.1	Utilização	54
6.1.2	Exemplo de Aplicação	55
6.1.2.1	Mina de Timbopeba	55
6.1.2.2	Mina de Taquari-Vassouras	56
6.1.2.3	Porto de Tubarão	56
6.1.3	Resultados	56
6.1.3.1	Mina de Timbopeba	57
6.1.3.2	Mina de Taquari-Vassouras	58
6.1.3.3	Porto de Tubarão	59
6.1.4	Comentário	60
6.2	Nível Digital – Leica da Digital Levels	60
6.2.1	Utilização	61
6.2.1.1	Características Gerais	61
6.2.1.2	Nivelamento e Levantamento de área	63
6.2.1.3	Nivelamento na Construção	63
6.2.1.4	Correção da Curvatura da Terra	64
6.2.2	Comentário	64
6.3	Estação Total Robotizada	65
6.4	Utilização	65
6.4.1	Sistema de Orientação	66
6.4.2	Sistema de Posicionamento de Automação do TBM	68

6.4.3	Automação do Rastreamento do TBM	68
6.4.4	Comunicação dos Dados sem fio.....	69
6.4.5	Visualização 3D de Construção do Túnel	69
6.4.6	Comentário	71
6.5	Estação Total.....	72
6.5.1	Comentário	73
7	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa teve como referência os métodos topográficos usados no Metrô de São Paulo. Os serviços topográficos, quando desenvolvidos em níveis subterrâneos trazem preocupação no sentido de implantar com exatidão a direção (azimute) para orientar a escavação. O trabalho desenvolveu-se apoiado em poligonal aberta, não sendo possível o seu fechamento enquanto o túnel não estiver vazado.

Sabe-se que em Engenharia, as pequenas, médias e grandes obras para serem implantadas começam com os trabalhos topográficos.

O produto final do levantamento topográfico fornece dimensionamento e posicionamento, os elementos técnicos básicos para as áreas da engenharia para iniciar, acompanhar e concluir seus projetos e obras.

Nas obras do Metrô de São Paulo os serviços de controle topográficos são parte fundamentais para a elaboração de projetos do traçado das linhas, locação e acompanhamento na implantação das obras.

Os serviços topográficos, quando desenvolvidos em níveis subterrâneos, exigem mais cuidados para garantir com exatidão, a direção (azimute) e a referência de nível para orientar a escavação e montagem de anéis, para túneis em *SHIELD* ou cambotas para túneis em Novo Método de Tunelamento (NATM).

O trabalho desenvolve-se apoiado em poligonal superficial, onde o controle da escavação do túnel deve ser rigoroso para garantir sua direção que só será verificada quando totalmente vazada.

Dentre os principais problemas na execução de túneis metroviários e rodoviários estão a manutenção da posição e as coordenadas de pontos de uma poligonal aberta, sem pontos de controle. O monitoramento do alinhamento da escavação, o transporte da posição da superfície para níveis subterrâneos e a locação dos anéis ou das cambotas requerem, o controle de qualidade dos equipamentos, em especial a estação total na operação das medições metroviárias.

Na construção de túneis é necessário garantir que os desvios de construção em relação ao eixo projetado (teórico) não ultrapassem os limites geométricos de tolerância, definidos no projeto. Os erros de locação podem acarretar na diminuição das performances operacionais previstas para a via permanente.

O presente estudo não tem a pretensão de esgotar o assunto, mas somente despertar a atenção para a importância da topografia na execução de túneis, bem como suscitar reflexão e debate.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é mostrar a importância do controle topográfico durante a execução de obras subterrâneas. Com uma demonstração geral do transporte de direção (azimute) para o nível subterrâneo, as tolerâncias topográficas de projeto para túneis em *SHIELD* e em NATM nas obras do Metrô de São Paulo, e como ocorre o controle tecnológico. Apresentar implantação de poligonais em túneis, precisões com ênfase nos equipamentos em função do conjunto utilizado entre operador, equipamento e acessórios e mostrar a execução de poligonais subterrâneas, enquanto o túnel não é vazado.

1.2 Justificativa

Com o crescimento das cidades cada vez mais torna-se necessário investimentos na infraestrutura de transportes, com o objetivo de melhorar o trânsito e adequar os espaços urbanos. Vários países têm realizado grande investimento para o desenvolvimento dos metrô. Isso implica muitas vezes na construção de túneis.

Na implantação dessas obras subterrâneas de engenharia, vários fatores devem ser contemplados, visando minimizar erros e aumentar a sua qualidade, seja na fase de projeto ou construção. Um dos fatores importantes é a questão do posicionamento da escavação e da via permanente. O controle da escavação e das máquinas, bem como a locação das cambotas devem ser constantemente acompanhadas para evitar erros de alinhamento, que podem causar grandes prejuízos financeiros e risco de acidentes.

Visando o cenário acima, o trabalho justifica-se pela intensa necessidade do controle minucioso durante a execução de obras subterrânea, onde o erro no traçado do túnel ou a ignorância de informações como recalques podem gerar danos materiais catastróficos e perdas de vidas.

1.3 Metodologia

Este trabalho considerou as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na área de topografia, como também monografias, teses, publicações nacionais e internacionais, utilizados com foco nas instruções e procedimentos da Companhia do Metropolitano de São Paulo.

2 HISTÓRICO DA REDE DE REFERÊNCIA DA CMSP

No início das obras do Metrô de São Paulo não existia na sua estrutura uma área responsável pelos levantamentos cadastrais, imprescindíveis para o desenvolvimento dos projetos da linha Norte-Sul. Em razão disso o Consórcio Técnico HMD (Hochtief Montreal Deconsult) em consenso com a Prefeitura Municipal de São Paulo, decidiu utilizar o cadastro municipal, representado por um conjunto de desenhos no sistema Gauss. Dessa forma os primeiros projetos foram concebidos utilizando como base este sistema cartográfico (trecho Saúde-Jabaquara).

Por se tratar de um sistema cartográfico, reduzido ao plano Universal Transversa de Mercator (UTM), no período de 1967 a 1971, o uso dos parâmetros de Gauss trouxe uma série de dificuldades, em razão da necessidade de se adotar valores reduzidos na elaboração dos projetos e consequentemente corrigir todas as distâncias apresentadas em planta para realizar a implantação da obra. Desse modo, a partir de 1971 o Metrô iniciou a implantação de um novo sistema de coordenadas local em plano topográfico, porém referenciado na rede Gauss, para permitir a revisão dos documentos técnicos até então elaborados.

Este sistema atualmente em uso tem uma área de abrangência em torno de 700km², estendendo-se de Itaquera a Vila Sônia (Leste-Oeste) e de Guarulhos a São Bernardo do Campo (Norte-Sul) e, devido a sua origem (rede cartográfico Gauss), está orientado geocentricamente no meridiano de 44°, com centralização topocêntrica no marco localizado no prédio da Secretaria da Fazenda na Praça da Sé, com coordenadas de 180.000m no sentido Norte-Sul (eixo x) e 150.000m no Leste-Oeste (eixo y), altimetricamente o plano topográfico está referenciado na altitude média de 760,00m.

A materialização deste sistema topográfico teve início na região central da cidade onde foram escolhidos os vértices Apeninos, Fanta, Secretaria da Fazenda e Pilar do Sul, que serviram de base para a densificação da rede, que atualmente conta com 91 marcos distribuídos em 6 ramificações distintas de quadriláteros, ou seja, sentido Itaquera, Guarulhos, Lapa, Vila Sônia, São Bernardo e Oratório. Vale lembrar que todos os pontos da rede de triangulação do Metrô encontram-se no topo dos edifícios, ou caixas d'água e são intervisíveis, condição imposta pela metodologia clássica.

As triangulações foram executadas com teodolito Wild T2 usando o método das direções (reiteração angular) com seis séries de leituras conjugadas, quando possível

executada a medida dos lados do triângulo e sempre a medida da última base, possibilitando dessa forma a checagem teórica dos dados. A precisão média obtida nesses trabalhos foi na ordem de 1:50.000, tendo ao centro (início da triangulação) precisão de 1:100.000, chegando aos extremos com precisão de 1:30.000, os dados foram analisados e ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

Posteriormente em 1976, com a finalidade de controlar e avaliar os parâmetros da rede existente e também de estabelecer a correlação entre o sistema do Metrô e o Cartográfico Municipal, criou-se uma rede geral, envolvendo a Rede de Triangulação Metrô, referenciada no Sistema Cartográfica do Estado, com diversos marcos em comum, definindo desta forma os parâmetros de transformação entre estes sistemas.

Com base nesta avaliação constatou-se não haver homogeneidade nas ramificações da Rede de Triangulações do Metrô, pois estas ramificações foram criadas isoladamente e derivadas de bases distintas com precisões variadas, causando problemas, porém contornáveis.

Em 1992 foi proposto pela Universidade de São Paulo (USP) quatro Termos de Referência ao Metrô de São Paulo, sendo um deles o Programa de Pesquisa na Área de Topografia de Locação de Sistemas de Referência para grandes obras. Os trabalhos de avaliação por amostragem do estado atual da rede de triangulação do Metrô duraram cerca de quatro meses, foram planejados e executados pela equipe técnica do Metrô e supervisionados pelos professores da USP.

A primeira etapa dos trabalhos foi a escolha dos pontos a serem observados com tecnologia de observação satélites rastreados, tendo como base a planta da rede de triangulação do Metrô. Esta etapa teve como critérios ser o mais abrangente possível envolvendo as seis ramificações da rede de triangulação do Metrô, ter em comum pontos do Sistema Geodésico Brasileiro e pontos da rede Sistema de Posicionamento Global (GPS) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp).

Esse trabalho utilizou os três receptores GPS de classe geodésica, pertencentes à USP. Foi usada uma máscara de elevação de 15° com o horizonte e o tempo de gravação de 15 segundos. O processamento foi executado pela USP e preliminarmente foi adotado como origem o ponto Alpargatas.

Na etapa seguinte foram realizadas as vistorias nos pontos escolhidos para verificar se as condições permitiriam um bom rastreamento, ou seja, verificar o nível de

interferências existentes em cada um deles. Nesta etapa vários pontos inicialmente escolhidos foram substituídos, alguns pelo nível de interferência outros por perda total ou destruição do ponto.

Na etapa do planejamento, foram montadas três equipes de seis pessoas, para realizar o trabalho, o horário e a duração do rastreamento eram pré-determinados e após o início de operação as equipes se comunicavam através de bips confirmando os horários de início da observação de cada receptor.

Esgotada a capacidade de armazenagem de cada receptor este era levado até a Escola Politécnica Universidade São Paulo para a transferência dos dados e informações para liberação de novas sessões.

Após este processamento foram criadas várias tabelas, dentre as quais o quadro 2.1 mostra as diferenças entre os pontos em comum do SBG, determinados pela metodologia clássica e os pontos determinados pela metodologia GPS da rede do Metrô.

Quadro 2.1- Diferenças entre os pontos SGB e Metrô

Vértices SAD 69	SGB Metodologia Clássica (ϕ, λ)	GPS – Metrô (ϕ, λ)	Δ (m)
V002	52'',96165	52'',80312	4,755
	36'',42554	36'',40538	0,6048
V003	57'',20793	57'',05390	4,6209
	44'',94308	44'',91934	0,7122
V004	45'',49588	45'',34697	4,4673
	03'',34808	03'',35509	-0,2103
V006	35'',37997	35'',22805	4,5576
	02'',26920	02'',26198	0,2126
V007	52'',54396	52'',38918	4,6434
	35'',43878	35'',44145	-0,0801
V009	55'',36469	55'',20284	4,8550
	00'',49201	00'',48923	0,0834
V010	40'',68878	40'',52508	4,9110
	25'',22240	25'',21688	0,16560
Apeninos	08'',74636	08'',5880	4,7508
	16'',55498	16'',54129	0,4107

Fonte: GIANNOTTI (2000)

Com os resultados obtidos no quadro 2.1, conclui-se que o ajustamento da rede existente não traria nenhum benefício, pois as diferenças encontradas estavam fora dos padrões aceitáveis e seria impossível a revisão de todos os documentos técnicos emitidos até então. Portanto, a alternativa mais viável foi de criar um novo sistema denominado Rede GPS Metrô, que servirá de base para todos os projetos futuros, totalmente diferente do atual, para facilitar o seu reconhecimento como nova origem e uma nova quadrícula.

Quadro 2.2 - Diferenças entre os pontos SGB e Metrô

Vértices SAD 69	GPS - Metrô (ϕ, λ, h)	GPS – Sabesp (ϕ, λ, h)	Δ (m)
Guarulhos	07'',88062	52'',80312	-0,021
	54'',25205	36'',40538	-0,0189
	829,635m	829,625m	0,020
DAES	56'',50500	56'',50660	-0,0180
	06'',42433	06'',42455	-0,0066
	834,396m	834,435	0,035
V003	58'',82742	58'',82809	-0,0201
	46'',52399	46'',52400	-0,0003
	876,983m	877,013m	0,030
Vila Maria	50'',66238	50'',66246	-0,0024
	16'',24739	16'',24815	-0,0228
	835,249m	835,279m	0,0320
SAEC	14'',92260	14'',92306	-0,0138
	56'',99201	56'',99235	-0,0102
	812,412m	812,416	0,004
V010	42'',29438	42'',29412	0,0078
	26'',82575	26'',82634	-0,0177
	798,515m	798,549m	0,034
V004	47'',11962	47'',12028	-0,01980
	04'',96309	04'',96352	-0,01290
	846,092m	846,089m	-0,003

Fonte: GIANNOTTI (2000)

O quadro 2.2 mostra as diferenças existentes entre os pontos em comum da rede do Metrô e da rede da Sabesp. Ambas determinadas por metodologia GPS, tendo o P1 como ponto fixo. Com base na análise destes resultados, o Metrô decidiu adotar para a rede GPS Metrô as mesmas características adotadas para Sabesp, ou seja, origem topocêntrica no marco P1 junto à raia olímpica da USP, com coordenadas de 250.000m no sentido Norte-Sul (eixo y), 150.000m no Leste-Oeste (eixo x) e altimetricamente o plano topográfico foi referenciado

na altitude média de 760,00m, desta forma sem nenhum cálculo adicional é possível utilizar os 100 vértices da rede implantado pela Sabesp, além daqueles vértices da rede do próprio Metrô. Vale lembrar que a base P1 (Valinhos) usada como pontos de partida para a rede GPS Metrô, pertencem à rede GPS do Estado de São Paulo. A figura 2.1. mostra todos os vértices geodésicos escolhidos da rede de triangulação do Metrô para definição da rede GPS Metrô.

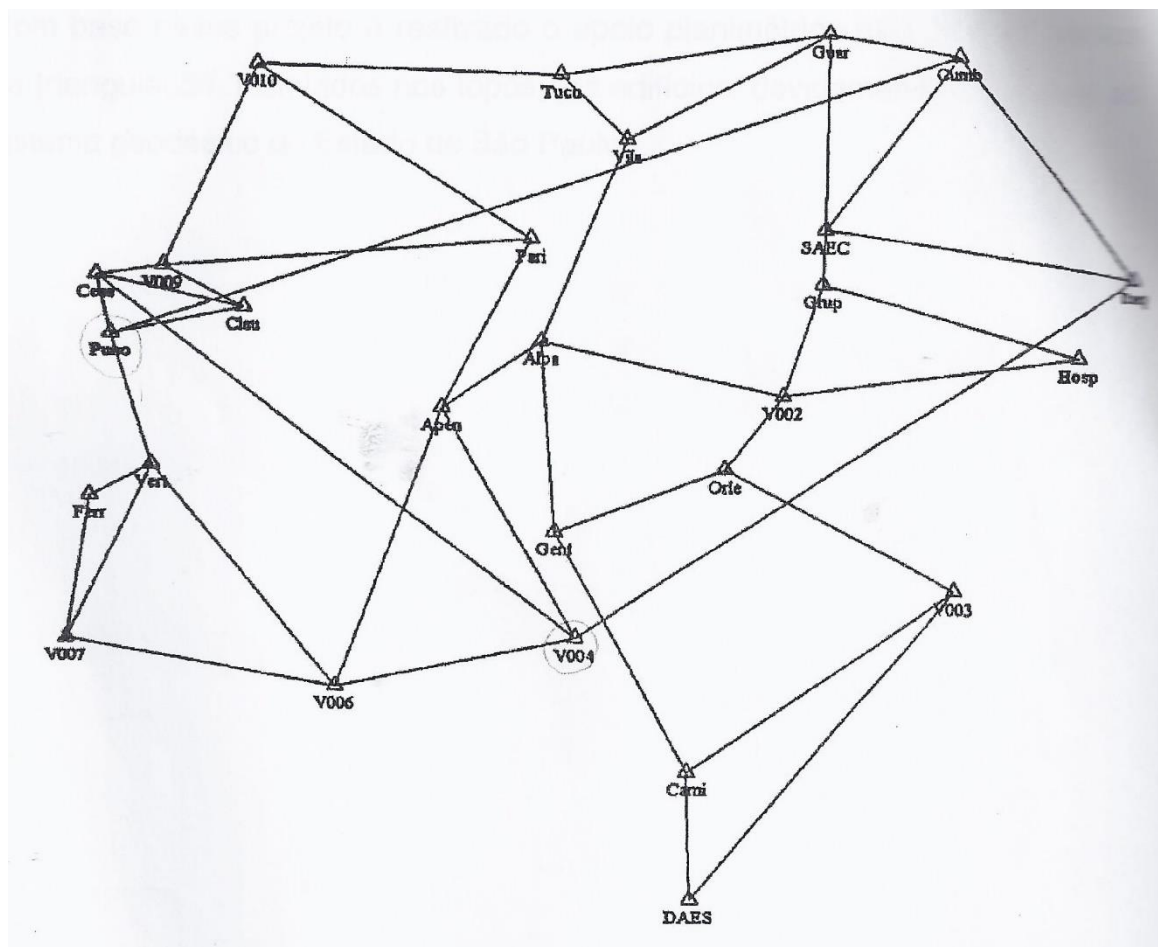


Figura 2.1 – Fechamento da Poligonal
Fonte: GIANNOTTI (2000)

3 DEFINIÇÕES

Para melhor compreensão deste trabalho, considera-se as definições apresentadas na NBR 15.309, 2005 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e publicações do Metro-SP, a saber:

3.1 *Anel:*

Peça circular seccionada que reveste o túnel em *Shield*, podendo ser metálico ou de concreto.

3.2 *Anteparo:*

Peça de proteção localizada na cauda do *Shield*.

3.3 *Aparelho de Mudança de Via (AMV):*

Peça constituída por sistema capaz de permitir o trem a transpor de uma via à outra.

3.4 *Apoio Topográfico Altimétrico:*

Conjunto de pontos materializados no terreno, com suas alturas referidas ao nível médio do mar (altitudes), com origem na rede oficial do Estado servindo de suporte altimétrico ao levantamento topográfico, para compatibilização com outros órgãos.

3.5 *Apoio Topográfico Planialtimétrico:*

Conjunto de pontos materializados no terreno, identificados com coordenadas cartesianas (x e y) obtidas a partir de uma origem no plano topográfico, que tem por finalidade servir de base planimétrica ao levantamento topográfico. Estes pontos formam uma figura complexa de lados orientados, podendo ser hierarquizados em ordens, onde os de ordem superior podem estar espaçados de até 10km e os de ordem inferior de até 500m, conforme o fim a que se destinam.

3.6 *Avanço:*

Progressão da execução do túnel no sentido da escavação.

3.7 *Bandeirola:*

Pequena bandeira traçada para assinalar um ponto de alinhamento ou altitude.

3.8 *Base de Primeira Ordem:*

Linha básica constituída de dois pontos, sendo que um dos pontos pode ser o da origem, apoiada na rede de triangulação e/ou trilateração ou poligonal principal, destinada a locação e acompanhamento de obras.

3.9 *Calota ou Abóbada:*

É a seção superior do túnel.

3.10 *Cambota:*

Peça metálica em arco, utilizada no processo construtivo de túnel pelo método NATM.

3.11 *Cambota Gabarito:*

Peça metálica utilizada para apoio topográfico em túnel construído sem cambota.

3.12 *Chave:*

Flanges de união das partes seccionadas de uma cambota dos túneis executados em NATM ou o segmento (cunha) utilizado como fechamento na montagem de um anel de concreto dos túneis executados em *Shield*.

3.13 Concreto Projetado:

Concreto projetado é pneumáticamente transportado e projetado a alta velocidade, sobre uma superfície, sendo auto compactado. Assim, denota-se que suas propriedades são dependentes do processo de projeção utilizado.

3.14 Croqui:

Esboço gráfico sem escala em breves traços, que facilite a identificação de detalhes.

3.15 Estaca Metálica:

Peça de ferro de dimensões definidas geometricamente, utilizadas na contenção do terreno para escavação de vala a céu aberto (VCA).

3.16 Gabarito Dinâmico ou Gabarito de Livre Passagem:

É o espaço a ser mantido livre de construção e de quaisquer outros obstáculos para a passagem dos trens.

3.17 Invert:

Laje de concreto armado executado na seção inferior do túnel, também conhecido como arco invertido provisório ou arco invertido definitivo.

3.18 Método de Direções:

Consiste nas medições angulares horizontais com visadas das direções determinantes nas duas posições de medições permitidas pelo teodolito (direta e inversa), a partir de uma direção tomada como origem e que ocupa diferentes posições no limbo horizontal do teodolito. As observações de uma direção nas posições direta e inversa do teodolito chamam-se leituras conjugadas. Uma série de leituras conjugadas consiste na observação sucessiva das direções, a partir da direção-origem, fazendo-se o giro de ida na posição direta da luneta e de volta na posição inversa, ou vice-versa, terminando na última

direção e iniciando-se a volta sem fechar o giro. O intervalo medido no limbo horizontal do teodolito, entre as posições da direção origem nesse limbo chama-se intervalo de reiteração. Assim para observação de “n” séries de leituras conjugadas pelo método das direções, o intervalo de reiteração será $180^\circ/n$. Como exemplo se forem 3 séries de leituras conjugadas, o intervalo de reiteração será $180/3 = 60^\circ$ e a direção-origem deve ocupar no limbo horizontal do teodolito posições nas proximidades de 0° , 60° e 120° . Os valores dos ângulos medidos pelo método das direções será as médias aritméticas dos seus valores obtidos nas diversas séries.

3.19 NATM (New Austrian Tunneling Method):

É uma maneira segura e muito eficiente de construir túneis. Basicamente, logo após a escavação parcial do maciço é instalada a estrutura de suporte.

Esta estrutura é feita com concreto projetado e complementada, quando necessário, por tirantes e cambotas. Nesta metodologia, que à primeira vista parece simples, estão embutidos conceitos fundamentais.

Este desenvolvimento é fruto da experiência com trabalhos de execução de túneis em minas de carvão.

O NATM baseia-se no princípio da estabilidade do solo pelo alívio de tensões redistribuídas em torno da cavidade aberta. O revestimento de concreto projetado flexível permite a acomodação natural do solo até que atinja o novo estado de equilíbrio. Com a estabilização das deformações, o próprio maciço, auxiliado pelo revestimento de concreto projetado, passa a compor o principal sistema de suporte que mantém aberta a cavidade (CELESTINO *et al.*, 1990).

3.20 Palanque ou Console:

Suporte destinado a dar sustentação ao teodolito ou nível durante trabalhos no interior do túnel.

3.21 Placa Landi:

Placa de apoio e fixação dos trilhos sobre a viga suporte.

3.22 Poço de Emboque:

Poço de acesso no nível de escavação do túnel.

3.23 Poço Testemunha:

Consiste em dois tubos de PVC rígido, separados entre si, numa distância de aproximadamente de 60 metros, situados entre a superfície do terreno natural e o teto do túnel, nas proximidades do seu eixo horizontal, para que seja transferida uma base da superfície para o seu interior, através de fios de aço tencionados por pesos imersos em óleo.

3.24 Poligonal Principal ou Básica:

É a poligonal que determina os pontos de apoio topográfico de primeira ordem, com origem e fechamento em vértices distintos da rede de triangulação ou trilateração tendo seus vértices nivelados a partir da Rede de Referência de Nível com origem e fechamento em pontos distintos, cuja finalidade é de locação e acompanhamento de obras.

3.25 Poligonal Secundária ou de Locação:

É apoiada na poligonal principal com origem e fechamento em vértices distintos, obedecendo os mesmos critérios de precisão, destinada ao cadastramento complementar, locação e acompanhamento de obras.

3.26 Ponto:

Posição de destaque na superfície a ser levantada topograficamente.

3.27 Pontos Cotados:

São pontos que nas suas representações gráficas apresentam-se acompanhadas de sua altitude ortométrica ou cota.

3.28 Ponto Notável:

Ponto fundamental que define a geometria da via.

3.29 Ponto Polar ou Ponto Auxiliar:

Estação ou ponto adequadamente materializado, com a finalidade de auxiliar o levantamento de detalhes através de ângulo e distância a partir de dois vértices.

3.30 Ponto de Segurança (PS):

Ponto materializado para controle de nivelamento.

3.31 Rebaixo:

Seção inferior do túnel executado em NATM.

3.32 Rede de Referência de Nível Metroviário:

Conjuntos de pontos topográficos cotados, espaçados em torno de 300m, materializados fora da área de influência da obra, com precisão de $6\text{mm} \sqrt{k}$ (k em quilômetros do circuito), após o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados.

3.33 Rede de Triangulação e/ou Trilateração:

Conjunto de ponto topográficos, formando uma cadeia de quadriláteros de 1º ordem, com vértices que permitem perfeita intervisibilidade materializados nos topos das edificações com precisão mínima de 1:100.000.

3.34 Shield (Tatuzão ou TBM):

Tunnel Boring Machines (TBM) consistem tipicamente em a roda de corte girando, chamada de cabeça de corte, seguida de um rolamento principal, um sistema de propulsão e mecanismos de apoio à direita. O tipo de aparelho utilizado depende da geologia particular do projeto, e a quantidade de água do solo e outros fatores presentes.

Tunnel Boring Machines são usadas como uma alternativa para perfuração e detonação de pedras e minerações convencionais do solo. A TBM possui a vantagem de limitar a perturbação do terreno circundante, produzindo uma parede do túnel suave. Isto reduz significativamente o custo do revestimento do túnel, e os torna adequados para uso em áreas densamente urbanizadas. A maior desvantagem é o custo inicial. TBM é caro para construir, e podem ser difíceis de transportar. No entanto, como túneis modernos se tornam mais longos, o custo de perfuração dos túneis versus máquinas de perfuração e explosão é realmente menor, isso porque o túnel com a TBM é muito mais eficiente, resultando em um projeto mais curto.

3.35 Terceiro Trilho:

Barra de aço unitária e paralela à via permanente, de formato especial, destinada a permitir a passagem de corrente elétrica ao trem.

3.36 Triângulo de Restituição ou Grapa:

Equipamento composto por duas hastes articuladas, posicionadas através de pinos existentes nos seus extremos, encaixados em suportes fixados na parede, tendo por finalidade a reconstituição de um ponto topográfico na via.

3.37 VCA (Vala a Céu Aberto)

Vala a céu aberto é um método destrutivo utilizado em obras subterrâneas como metrô, galerias, tubulações enterradas, subsolos de edifícios, estacionamento de veículos e etc, é frequente a execução de escavação de solos e/ou rochas a céu aberto. Consiste na abertura de uma vala devidamente escorada ou ancorada, com vistas também à proteção dos prédios vizinhos. Em inglês é conhecido como *Cut and Cover*. Para execução da vala é utilizado recursos como cortinas de estacas-prancha de madeira ou metálica, com perfis e estroncas, como também é utilizado parede diafragma.

4 LOCAÇÃO DA OBRA

Como preconiza o professor Moreira *et al.*, (2008), para a locação e o controle dimensional de uma obra, é necessário desenvolver, dentre outras, as seguintes etapas preliminares:

1. Levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral do imóvel;
2. Projeto executivo de: Terraplanagem, fundação, pilares, eixos, equipamentos, edificações e outros detalhes que se fizerem necessários.

Deve ser discutido com o contratante e documentado, os processos construtivos ou de montagem a serem empregados e quais as tolerâncias admissíveis em cada fase dos mesmos, possibilitando desta forma, a elaboração de um plano de trabalho, incluindo a seleção dos equipamentos topográficos e técnicas de locação (coordenada cartesiana ou polar ou intersecção) a serem usados. Em primeiro lugar deve ser verificado se a documentação fornecida compreende todas as etapas da locação a ser realizada. Estes documentos devem corresponder à última revisão dos projetos executivos. Deve ser verificado se a base topográfica utilizada no desenvolvimento dos projetos, isto é: se as determinações compreendendo os limites, a área e a referência de nível do projeto são as mesmas do levantamento planialtimétrico e cadastral fornecido.

Com os projetos e as áreas de ocupação da obra ou equipamento sobre o terreno, deve ser estudada, *in loco*, a implantação dos vértices poligonais e das referências de nível do apoio a todas as etapas previstas para a execução dos serviços. Este apoio deve estar correlacionado ao sistema topográfico adotado para o levantamento planialtimétrico e cadastral considerado para a elaboração dos projetos.

Considerando as dimensões da área de implantação da obra ou montagem, devem ser implantados vértices poligonais consecutivos e referências de nível, fora do imóvel, em locais julgados estáveis e seguros, de forma a garantir toda a execução dos serviços, incluindo o como construído (*as built*).

4.1 Triangulação Planimétrica

Segundo Corrêa (2010), no caso de abertura de túneis em regiões acidentadas, o método de locação mais aconselhado é o da triangulação, verificado na figura 4.1.

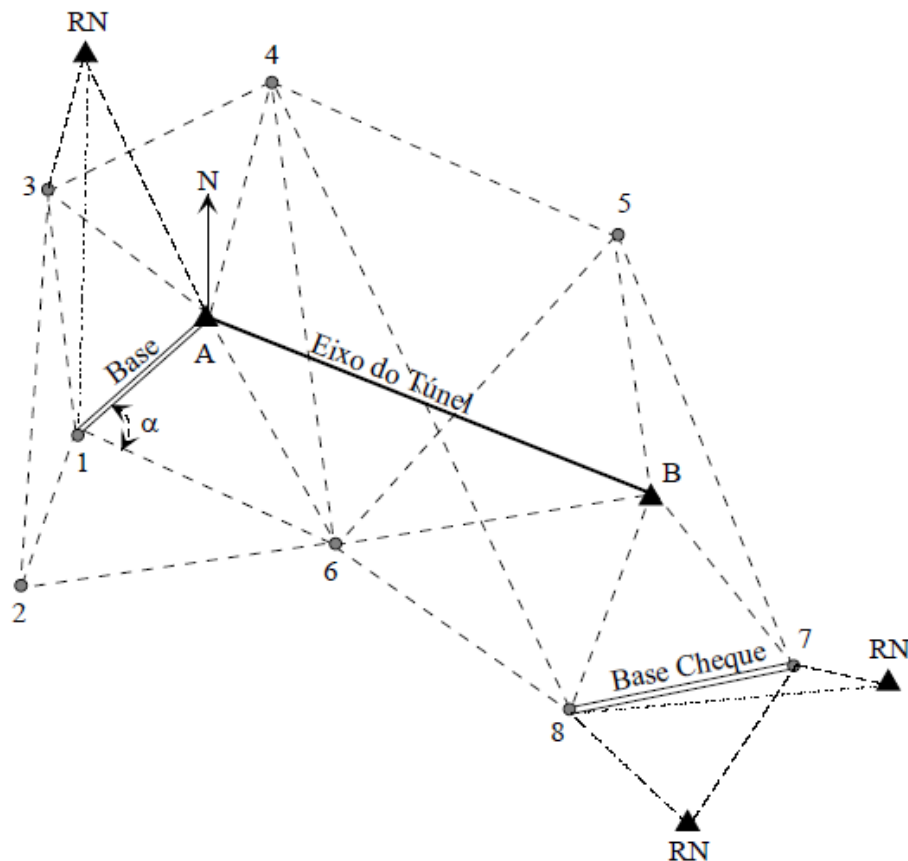


Figura 4.1 – Locação por Triangulação
Fonte: CORRÊA (2010)

Após o reconhecimento da área e a demarcação dos pontos extremos do eixo a ser locado, determina-se a localização das estações que servirão de apoio à triangulação. Sempre que possível, a rede de triangulação a ser levantada deverá estar amarrada a rede de referência conhecida. Caso contrário, necessita-se medir uma base inicial e uma base de cheque final para que se possa determinar o azimuth do eixo e seu respectivo comprimento, com o auxílio dos ângulos internos da triangulação.

Com os dados da triangulação, calcula-se o comprimento dos lados da mesma, o azimute dos alinhamentos, as coordenadas das estações e finalmente as coordenadas dos extremos do eixo e sua respectiva orientação. Com as coordenadas dos extremos do eixo conhecidas, determina-se o comprimento do mesmo. As coordenadas dos vértices do eixo permitirão, igualmente, o cálculo do azimute direto e inverso, os quais possibilitarão que as escavações possam ser realizadas a partir das duas extremidades. Caso haja possibilidade, o nivelamento do eixo deverá ser efetuado pelo método geométrico. Se este não for possível, utiliza-se o nivelamento trigonométrico pelo método das visadas recíprocas e simultâneas entre as estações da triangulação. Na locação de um eixo de túnel, deve-se ter cuidado para que o erro de nivelamento e alinhamento sejam os menores possíveis e sempre abaixo do erro máximo permitido pelo projeto.

A triangulação do Metrô de São Paulo, é feita nas proximidades do traçado geométrico da via permanente, geralmente em cima dos prédios, permitindo perfeita intervisibilidade, com precisão linear de 1:100.000 nas bases e os fechamentos dos triângulos devem ser na ordem de 3,2 segundos ou 1 miligrado, como a figura 4.2.

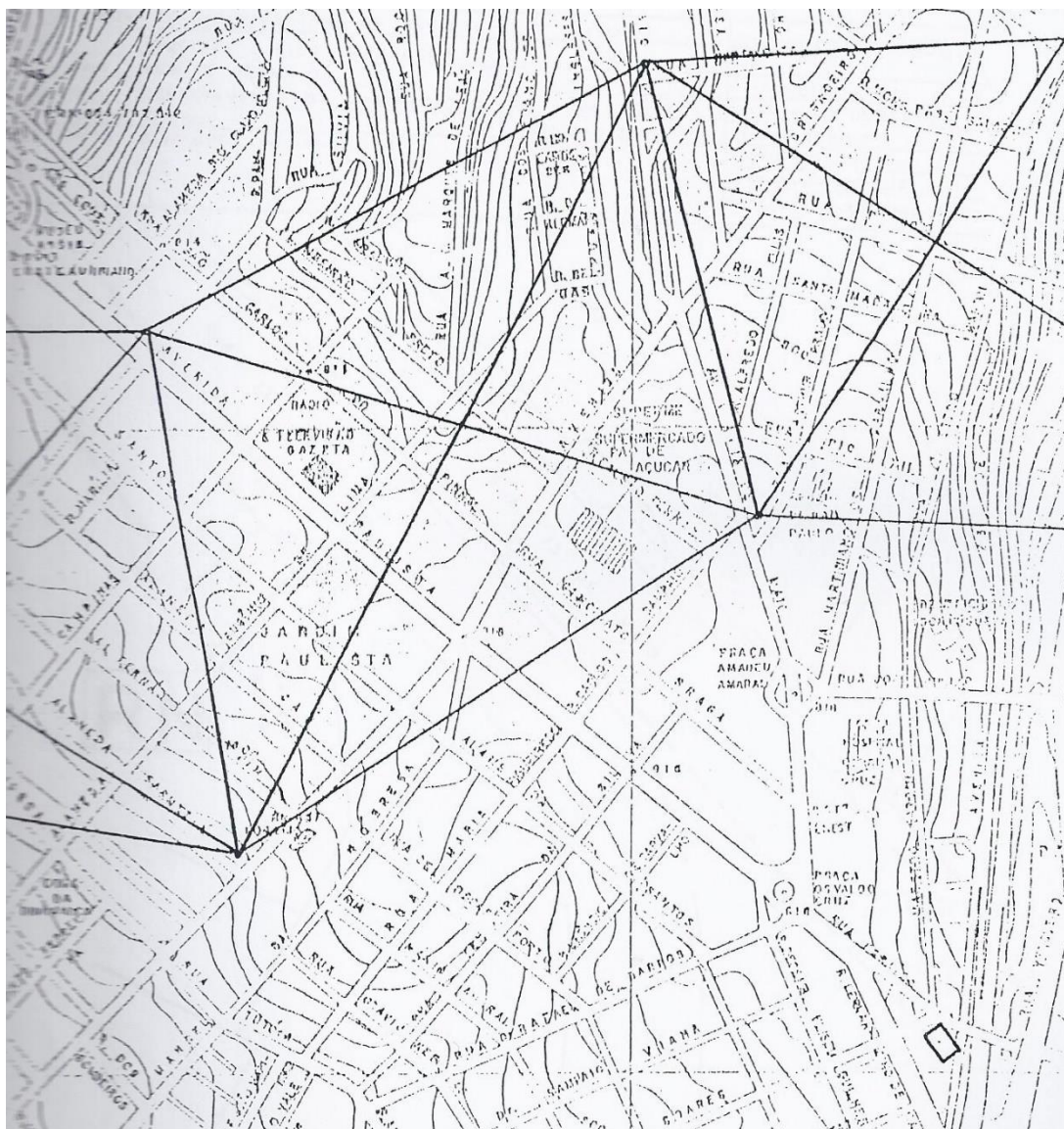


Figura 4.2 – Fechamento da Poligonal Triangular
Fonte: GIANNOTTI (2000)

Esta poligonal servirá como apoio para o futuro desenvolvimento de toda a obra. Como apoio vertical, é mantida uma rede de referência de nível (RN) com marcos a cada aproximadamente 500 metros, com precisão de $\pm 6\text{mm} \sqrt{k}$, onde k é o número de quilômetros do circuito da rede, devidamente identificados na figura 4.3.

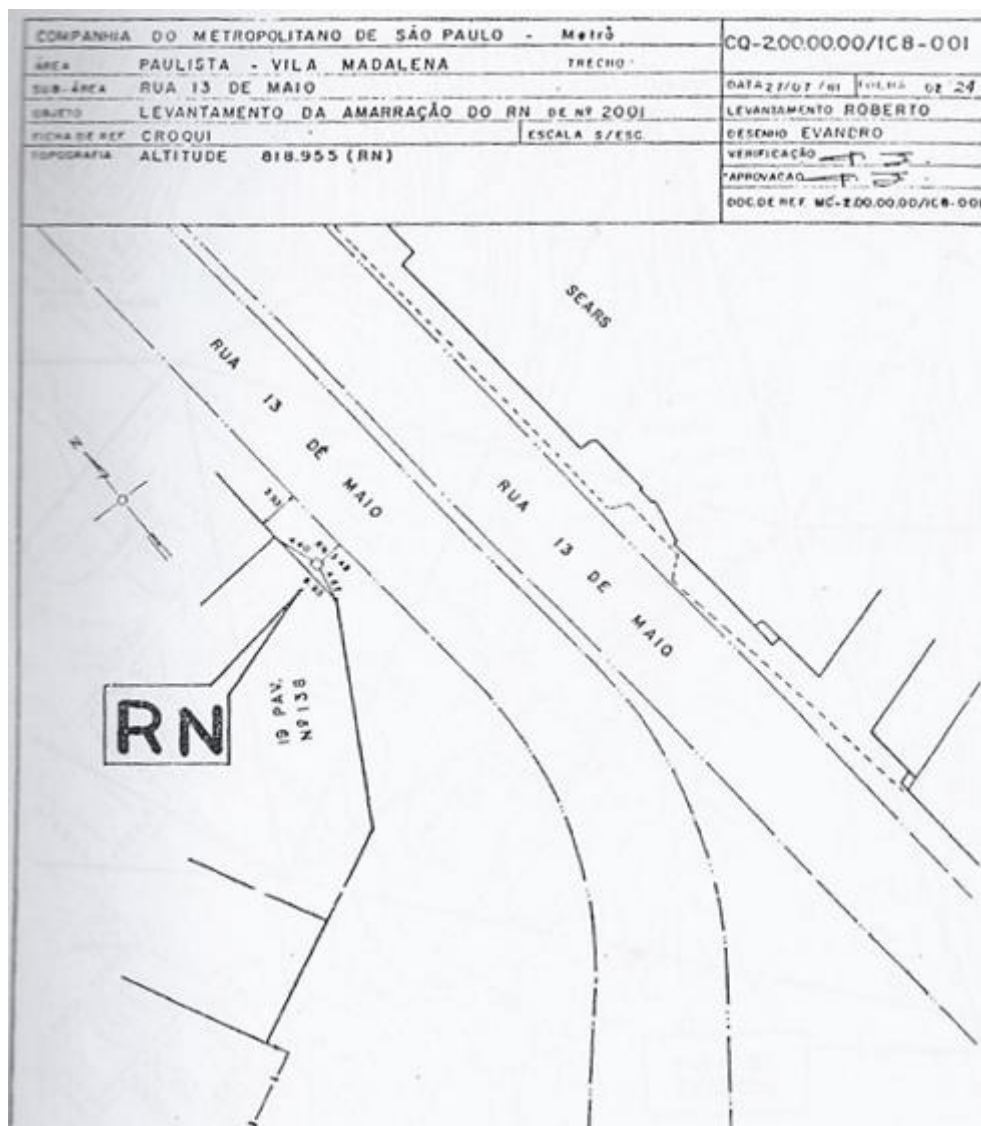


Figura 4.3 – Monografia do RN
Fonte: GIANNOTTI (2000)

Na época da implantação desse apoio altimétrico, optou-se pela utilização de marcos de concreto, cravados a não mais de 1 metro de profundidade no terreno. Por se encontrarem instalados muito superficialmente, os marcos sofreram modificações altimétricas, algumas provocadas pela própria execução da obra. Esse fato gerou inconvenientes, exigindo-se uma manutenção constante de toda a rede.

Nos trechos em túneis foi instalado *Bench Marks* para o procedimento de leituras dos instrumentos de medição de recalques e para implantar a rede altimétrica no interior do túnel. Dos marcos da triangulação urbana, situados no alto dos prédios, medem-se ângulos e

distância para um ou mais pontos situados ao nível do terreno natural próximo ao poço de emboque do *shield*, constituindo assim uma poligonal auxiliar, como na figura 4.4.

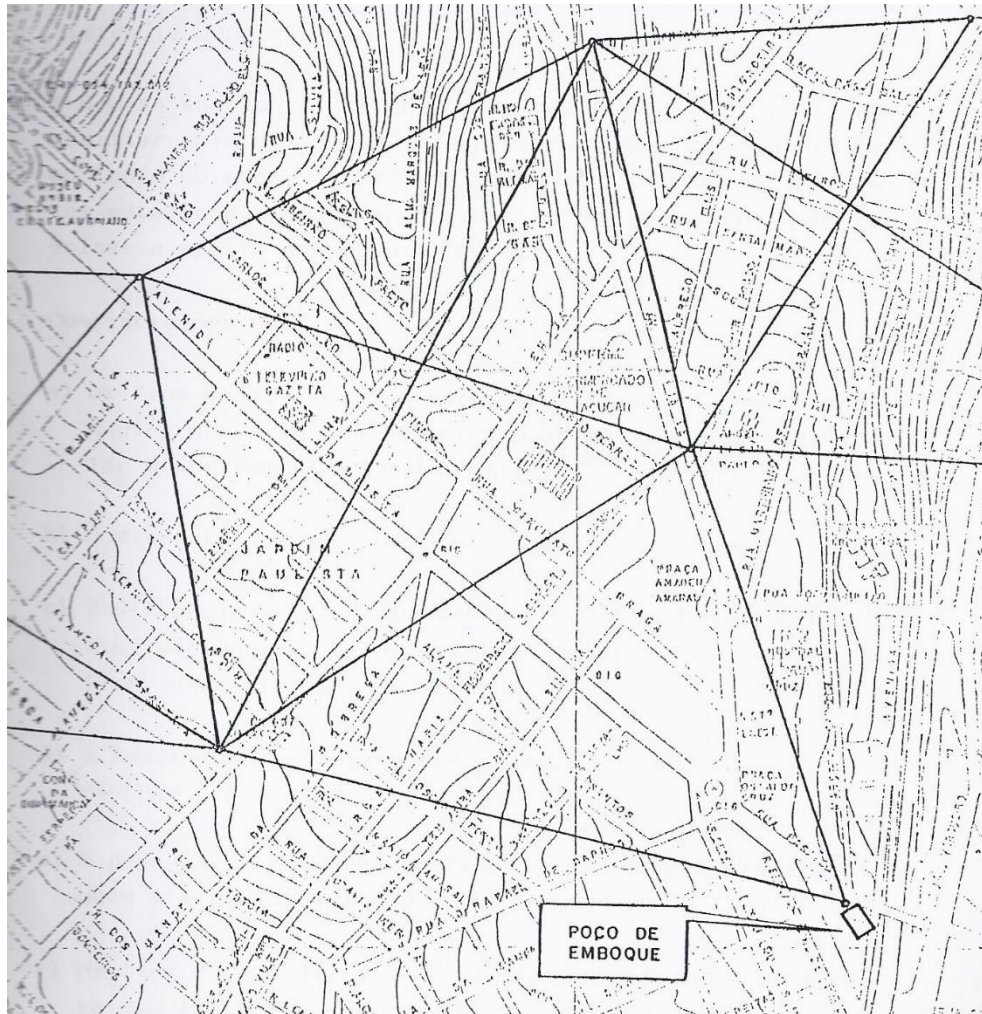


Figura 4.4 – Ponto da Poligonal Auxiliar
Fonte: GIANNOTTI (2000)

Esses pontos devem ser periodicamente verificados, em virtude de estarem quase sempre situados em zona com influência de recalques, provocados pelo desenvolvimento da própria obra.

4.2 Transporte de Direção para o Nível Subterrâneo

Para reduzir a incidência de erros estabeleceu-se a sistemática de trabalho que é descrita a seguir. Segundo a NBR 15309 medem-se ângulos e distâncias de uma base poligonal principal para dois fios de aço pendurados da superfície ao fundo do poço, através de roldanas afixadas em cavaletes metálicos, tencionados com pesos imersos em óleo, para se evitar o efeito do pêndulo, como observado na figura 4.5 e na figura 4.6, (ABNT, 2005).

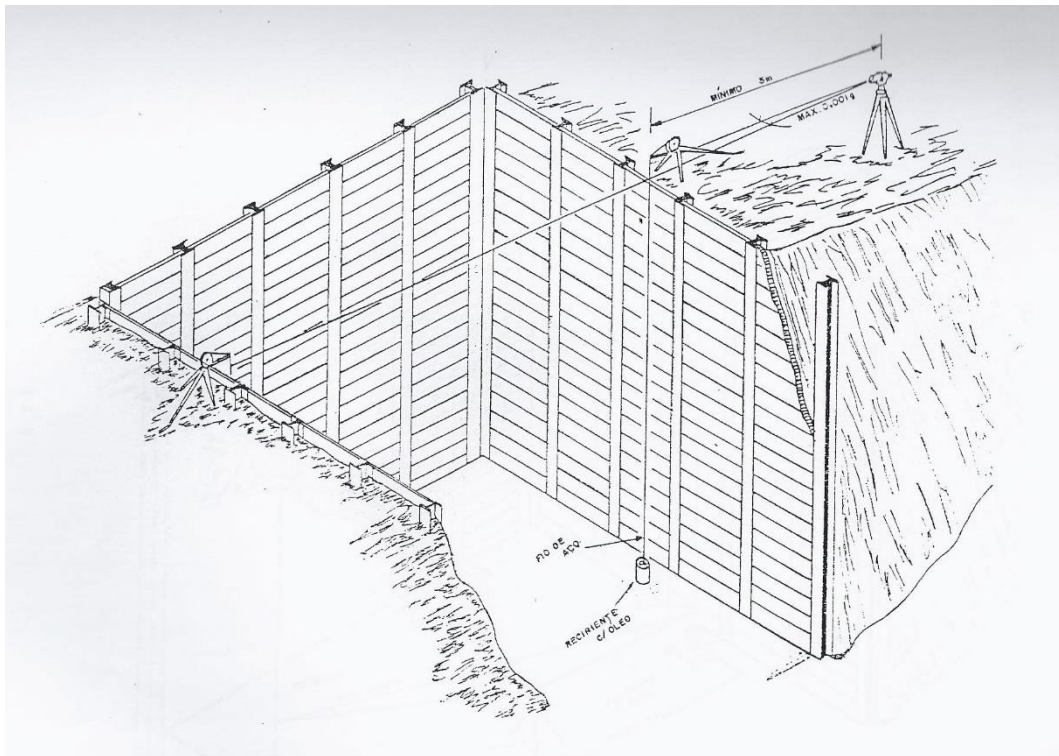


Figura 4.5 – Transporte do Azimute para nível subterrâneo
Fonte: GIANNOTTI (2000)

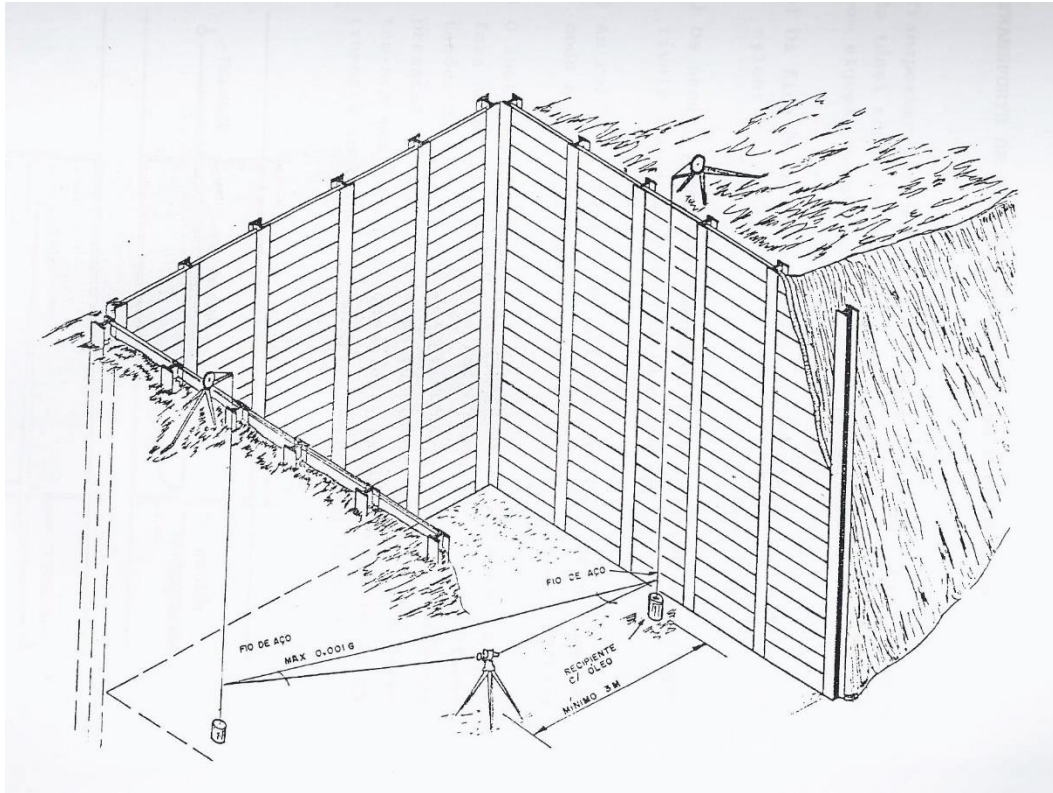


Figura 4.6 – Transporte do Azimute para nível subterrâneo

Fonte: GIANNOTTI (2000)

O sistema de medições de ângulos e distâncias para os fios de aço, onde permite o transporte do azimute no plano horizontal que permanecem inalterados em toda a sua altura, possibilitando retomar esses valores no fundo do poço. Procedendo a operação de maneira inversa à da superfície, ou seja, posicionando o instrumento convenientemente desalinhado em relação aos fios de aço, implanta-se uma base de poligonal ao nível do fundo do poço, assim atribuindo coordenadas a mesma, que servirá como partida para todos os serviços topográficos na execução dos túneis.

De posse das coordenadas da base poligonal do eixo do túnel, é locado em seguida na laje outro ponto referente ao eixo, convenientemente calculado. Estaciona-se teodolito sobre o novo ponto, são medidos ângulos e distâncias para os fios e para uma bandeirola pintada com antecedência na parede mais distante do poço. Os cálculos desta última operação irão definir com exatidão as coordenadas e o azimute a serem utilizados durante os trabalhos de escavação do túnel.

A poligonal oriunda dessa base não terá fechamento antes que o túnel seja vazado, para que a metodologia usada garanta segurança e confiabilidade, os pontos de partida devem ser periodicamente verificados por estarem em zonas de influência de recalques.

Para o apoio altimétrico é efetuado um nivelamento geométrico de precisão, da superfície ao fundo do poço, com uso de nível Wild NA2 Classe 3 NBR 13133 datado de uma placa plano paralela com leituras em trena de aço devidamente aferida, assim transportando para uns pontos de segurança para as bases dos palanques, suportes metálicos, instalados em cambotas ou anéis já executados, (ABNT, 1994).

Em caso de túnel muito longo é necessário a construção de poços testemunhas, para que seja verificada e corrigida a poligonal interna.

4.3 Implantação das Poligonais

Para a implantação das poligonais, segundo a NBR 13133, é primeiramente feita uma vistoria ao longo do trecho da obra e escolhido o posicionamento de pontos, que permitam visadas entre os vértices na ordem de 450,00 metros e devida monumentação dos marcos para realização dos trabalhos de levantamento da poligonal principal, sendo esta com caminhamento sempre no sentido longitudinal da linha da obra, (ABNT, 1994).

Essa poligonal é enquadrada na Classe II P e dela parte todo o apoio planimétrico. Partindo dessa poligonal são implantadas poligonais secundárias Classe III P utilizando neste levantamento teodolito Wild T2, Classe 3 (precisão alta ≤ 02 segundos), e o distanciômetro classe 2 (precisão média $\pm 5m + 5 \text{ ppm} \times \text{distância}$).

4.4 Implantação da Rede de Referência Altimétrica

As Referências de Nível (RRNN), estão amarradas na rede da Prefeitura do Município de São Paulo e instaladas ao longo do traçado das linhas, espaçadas de aproximadamente 300m cada RN e fora da área de interferência da obra. Saindo sempre de 2 ou 3 RN's para a checagem da partida.

Foi executado com a utilização de nível Wild N3 Classe 4 NBR 13133 e miras invar um duplo nivelamento com pontos auxiliares a cada 50 metros aproximadamente, fazendo leituras na mira no lado direito e no lado esquerdo, obtendo dessa forma 2 desníveis de ida e 2 desníveis de volta, sempre fazendo a devida checagem das leituras com a constante das miras, (ABNT, 1994).

Ao longo desse percurso sempre que encontradas RRNN da PMSP estas foram checadas e geralmente alcançaram precisões de aproximadamente 6mm/Km com diferenças máximas na ordem de 2 a 3 cm.

Os dados obtidos foram processados em programas específicos, é elaborado o documento técnico, ficando à disposição da CMSP.

4.5 Levantamento Cadastral

Como adotado pelo Metrô de São Paulo, após a implantação, levantamentos e os ajustes necessários, as poligonais e rede de referência são oficializadas, gerando uma documentação técnica, sendo disponibilizadas para as diversas áreas da CMSP e para as empreiteiras que irão executar a construção das obras. De posse desse material é executado o levantamento cadastral que abrange uma faixa de 100 m ao longo do traçado e aumentando a faixa de abrangência nas regiões de estações e terminais, onde são colhidos pontos de detalhes que possibilitem uma visão real e precisa da área envolvida com a execução da obra, tais como: postes, placas, orelhões, semáforos, hidrantes, boca de lobo ou leão, PV's (poço de visita), árvores, alinhamento predial, divisa de imóveis, guias, etc. Esse levantamento é executado com teodolito Wild T1 Classe 2 (NBR 13133, 1994) e com distanciômetro Classe 2 NBR 13133 ou com Estações Totais Classe 2 NBR 13133, (ABNT, 1994).

Na região de túneis são levantados pontos para a localização de edifícios acima de 4 andares (coordenadas dos cantos dos edifícios), contendo número de pavimentos, subsolos e área de construção. Quando o edifício não é em sua totalidade de pavimento tipo (planta baixa dos apartamentos são iguais), é executado um levantamento para cada tipo de pavimento. Além desse levantamento é executado também um levantamento cadastral completo de imóveis (quadras) onde envolvem áreas desapropriadas (com coordenadas em todos os vértices do imóvel) e levantamentos de seções transversais de áreas onde há interferência com córregos, linhas de transmissões, cruzamentos com ferrovias e adutoras.

4.6 Implantação da Obra

Segundo a experiência da CMSP, antes de qualquer serviço a ser executado numa obra, é imprescindível a implantação de uma poligonal básica e uma Rede de RRNN, referenciadas em marcos de triangulação ou em poligonais. É feito uma vistoria no trecho de

implantação dessa etapa da obra e escolhido locais estratégicos e afastados da área de sua influência, permitindo o controle e o acompanhamento das diversas etapas de construção.

Essas poligonais são do tipo III P NBR 13133, também com as mesmas características das poligonais descritas no item 4.5, (ABNT, 1994).

As RRNN são executadas com Nivelamento Geométrico Classe IN NBR 13133 e com nível Classe 3 (Wild NA2) com duplo nivelamento, (ABNT, 1994).

4.7 Implantação do Canteiro de Obra

Como preconizado pelo Metrô de São Paulo, de posse dos levantamentos cadastrais das áreas desapropriadas ao longo do projeto das linhas, onde será executada a obra, é realizado o planejamento estratégico para atender as diversas frentes de trabalho e determinada a localização ideal dos pontos de referência onde serão instalados o escritório central (base) e os diversos escritórios de apoio às frentes de serviços.

Em seguida é executado um levantamento planialtimétrico das áreas definidas no projeto e do terreno natural para o início dos serviços de terraplenagem para instalação e implantação do canteiro de obras.

A partir da implantação de uma linha base é executado um levantamento de seções com nivelamento geométrico ou trigonométrico das diversas fases de movimentação de terra determinando precisamente a cota do projeto, com cálculos de volume de terra para efeito de liberação de medições. Feito isso, é iniciado trabalhos de locação dos edifícios a serem construídos para a acomodação de força de trabalho como portarias, escritórios, refeitórios, alojamentos, áreas de lazer e etc.

4.8 Levantamento das Interferências

Baseado na experiência dos topógrafos da Companhia Metroviária de São Paulo, antes do início das obras é executado *in-loco* uma locação prévia de pontos notáveis do traçado das linhas e da localização das estações, terminais e poços de ventilação. Com essa locação é executado um levantamento dos equipamentos de concessionárias como Eletropaulo, Cesp, Telesp, Comgás, Sabesp e outras, para atualização do cadastro de interferência. No entorno desses pontos notáveis é feito um levantamento cadastral das interferências. Nesse levantamento são coletados dados superficiais e subterrâneos tais como

coordenadas dos centros de poço de visita (PV) e caixas, profundidade, dimensões de caixas enterradas, posição de entrada e saída de tubos e dutos elétricos, contendo cotas de geratriz superior e inferior nas canalizações, quantidades de dutos por envelopamento, com as indicações de seus percursos entre saída e chegada. De posse do projeto de remanejamento de interferências dá-se início aos trabalhos de execução e acompanhamento de locações e levantamento de escavações e reaterro de prospecções, valas, construções de novos PV's e bocas de lobos, caixas de inspeção de concessionárias efetuando nesta fase o cadastro das interferências que fogem do projeto para atualização do mesmo e acompanhamento de medições.

4.9 Locação de Diferentes Tipos de Obras

Por referência na experiência de obras metroviárias, a locação de tipos de obras como estação em nível, elevada e subterrânea, vala a céu aberto, poço de acesso, ventilação e terminais rodoviários, apesar de terem etapas e unidades construtivas diferentes, os serviços são desenvolvidos de forma comum a todos. Sempre partindo de poligonais e redes de RRNN, são implantados apoios planimétricos e altimétrico, usando mesmos critérios de execução dos itens acima citados, em pontos estratégicos para permanecerem o máximo de tempo possível durante o período de execução da obra. Desse apoio são locados eixos longitudinais e transversais, os quais auxiliam na locação e verificação das estruturas, fundações, tubulões, estações, estacas, sapatas, arranque de pilares e etc. Locação e verificação dos pontos críticos que possam interferir com a via permanente como plataforma e pilares de vias, nas estações como as paredes de escadas rolantes e em terminais como formas de pré-moldados. Esses trabalhos são executados pelas empresas contratadas, verificados e liberados pela equipe de topografia do Metrô por norma específica para locação e acompanhamento de obras metroviárias da CMSP.

4.10 Túneis

Segundo a ET-4.00.00.00/3C2-001 (CMSP, 1998), o transporte de direção para o interior do túnel deverá ter início na poligonal principal e o transporte de altitude (nivelamento e contranivelamento) terá início na rede de RRNN do Metrô de São Paulo, conforme classificações e precisões estabelecidas na NBR 13133, (ABNT, 1994) e restrições contidas nesta especificação:

- Critérios de medição de poligonal classe II P;
- Nivelamento Geométrico classe II N.

O sistema de transporte de direção e nivelamento para o interior dos túneis deverá ser mantido até a utilização pelo Metrô de São Paulo.

Após a execução de um trecho em que, de suas extremidades tenha-se acesso à superfície, deverá ser implantada poligonal classe II P, com início e fechamento em vértices distintos da poligonal principal, com lados de no máximo 150m, de acordo com a visibilidade. Seu posicionamento deverá ser em locais que possa ser acessado a qualquer hora, independentemente das atividades em execução no túnel e deverá ser mantida até a conclusão dos serviços.

O nivelamento geométrico classe II N, deverá ter início e fechamento em RRNN distintos da rede do Metrô.

4.11 Vala a Céu Aberto (VCA) / Estações / Edificações

Segundo a ET-4.00.00.00/3C2-001, (CMSP, 1998) a contratada deverá implantar poligonal com lados máximos de 150m e referências de níveis conforme classificações e precisões estabelecidas na NBR 13133 com restrições contidas nesta especificação, (ABNT, 1994):

- Poligonal classe II P;
- Nivelamento geométrico classe II N.

A contratada deverá verificar topograficamente: gabaritos de arranque de ferragens, embutidos, chumbador, estaca e forma em geral como exemplo paredes, pilares, lajes, blocos e outros.

4.12 Pátios

A ET-4.00.00.00/3C2-001, (CMSP, 1998) prevê que a contratada deverá implantar poligonal e referências de níveis, conforme classificações e precisões estabelecidas na NBR 13133 e restrições contidas nesta especificação, (ABNT, 1994):

- Poligonal classe II P;
- Nivelamento geométrico classe II N.

4.13 Sistema Viário

Deverá ser implantada poligonal com lados, no máximo de 150m, de acordo com a visibilidade e rede de RRNN com pontos espaçados de até 300m.

O estaqueamento do eixo deverá ser detalhado a cada 20m e nos pontos notáveis das pistas com transição de superelevação e superlargura, nariz físico e nariz teórico. Em regiões de curvas verticais com $K < 8$, deverão ser detalhados a cada 10m.

5 CONTROLE DA EXECUÇÃO

Para melhor caracterizar e proporcionar uma definição mais profunda relacionada ao capítulo, apropriado da definição da instrumentação aplicada as obras metroviárias.

A instrumentação é um elemento imprescindível na execução de túneis, face às necessidades de se utilizar o método observacional Murakami (2001).

As principais funções da instrumentação segundo Celestino *et al.* (1990), *apud* Murakami (2001), são:

Garantir a segurança da obra, monitorando o comportamento do maciço e das estruturas face aos efeitos da execução do túnel. Através do monitoramento procura-se detectar antecipadamente eventuais mecanismos de colapso, os quais indicarão a necessidade de aplicação de contramedidas de segurança;

Permitir a avaliação do comportamento maciço-estrutura real. Os resultados da instrumentação subsidiarão a realizações de revisões e aprimoramentos do projeto e do método construtivo através de reavaliação das hipóteses adotadas previamente.

Segundo Murakami (2001), o objetivo da instrumentação é:

- Monitorar o projeto; e
- Monitorar a construção.

Como é possível observar, o objetivo da instrumentação e do controle de execução na obra metroviária são as mesmas. Dependendo da etapa da execução, ambos são utilizados para o controle tecnológico da obra.

5.1 Poço Testemunha

Segundo a experiência do Metrô de São Paulo, para minimizar os inevitáveis erros que implicarão no desvio do seu eixo de projeto e para garantir uma boa precisão nos túneis com extensão superior a 500 metros, costuma-se utilizar poços testemunhas.

Consistem em dois tubos de PVC rígido, separados entre si, numa distância de aproximadamente 60 metros situados entre a superfície do terreno natural e o teto do túnel, nas proximidades do seu eixo horizontal, para que seja transferida uma base da superfície para o seu interior, através de fios de aço, tensionados por pesos imersos em óleo. A maior

preocupação deverá estar na verticalidade e na estanqueidade, quando os tubos fizerem conexão com o túnel pressurizado, visto na figura 5.1.

Esse processo foi utilizado nas linhas Norte-Sul e Leste-Oeste do Metrô de São Paulo, permitindo avaliar precisão da primeira etapa de túnel escavado e garantir a segunda etapa de escavação, obtendo ao final resultados plenamente satisfatório.

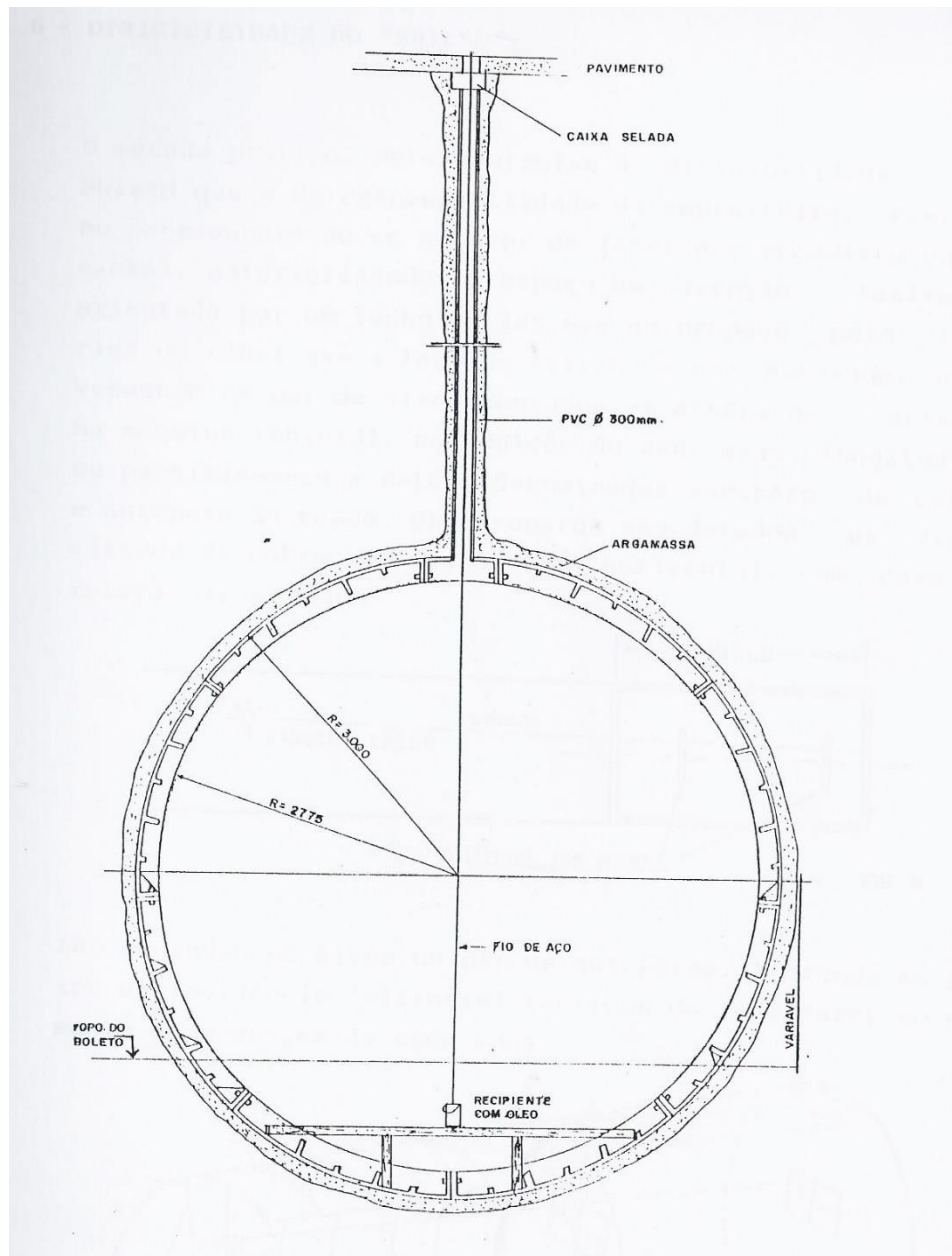


Figura 5.1 – Poço Testemunha
Fonte: GIANNOTTI (2000)

5.2 Vala a Céu Aberto (VCA) / Estações / Edificações

Na ET-4.00.00.00/3C2-001, (CMSP, 1998) indica que serão permitidas as seguintes tolerâncias:

- Para cravação de estacas e perfis conforme NBR 6122, (ABNT, 2010);
- Para paredes diafragmas: locação horizontal de +20mm, desvios verticais transversal máximo de 1% h e longitudinal máximo de 0,5% h, onde h é a altura da vala;
- Para interface lastro / radier de +10mm;
- Para radier, piso, laje e teto de +5mm;
- Para pilares e paredes de +5mm na horizontal, tanto no arranque como no topo;
- Para ferragem de espera para pilares, paredes e vigas suporte da via permanente de +5mm;
- Para chumbadores de +5mm, tanto na horizontal como vertical.

5.3 Transporte de Direção para a Região Pressurizada

Segundo a NBR 15309, transportar direção (azimute) para a direção pressurizada, do túnel consiste basicamente na metodologia já descrita, com algumas considerações, (ABNT, 2005):

- a) Os fios de aço deverão ser substituídos por fios de nylon;
- b) Para os pesos serem tensionados deverão ser compatíveis com a sua resistência mecânica;
- c) As roldanas deverão ser afixadas no teto da eclusa, de modo a não interferir no funcionamento das portas;
- d) O instrumento (teodolito) deverá ser instalado sempre fora da eclusa, pois esta sofre consideráveis movimentações durante as sucessivas compressões e descompressões. A experiência em tuneis do Metro de São Paulo tem

mostrado o inconveniente em se operar com o instrumento instalado no interior da eclusa, como na figura 5.2.

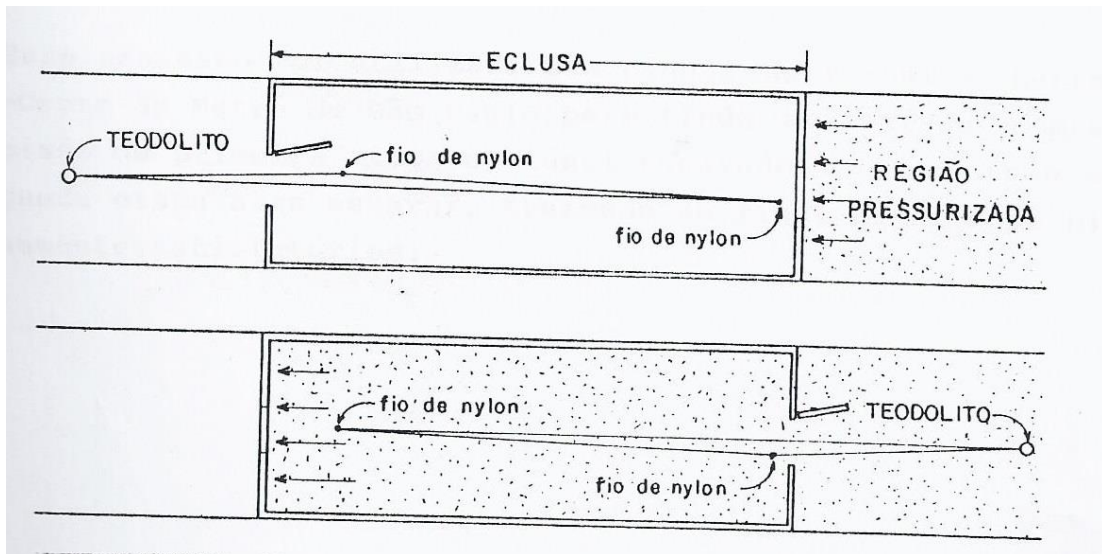


Figura 5.2 – Região Pressurizada
Fonte: GIANNOTTI (2000)

5.4 *Dirigibilidade do Shield*

O método prático para controlar a dirigibilidade do *Shield* que é de responsabilidade da empreiteira, consiste no acoplamento de um emissor de laser num teodolito convencional materializando no espaço uma direção (azimute), orientada por um fecho de luz que se propaga pelo interior do túnel até a face do terreno a ser escavado, atravessando um par de alvos montados em anteparos afixados na máquina (*Shield*), na posição do seu eixo longitudinal ou paralelamente a este e denominados anteparo da cabeça e anteparo de cauda. Os anteparos são dotados de dispositivos de correção para o plano horizontal em caso de rotação da máquina, observe na figura 5.3.

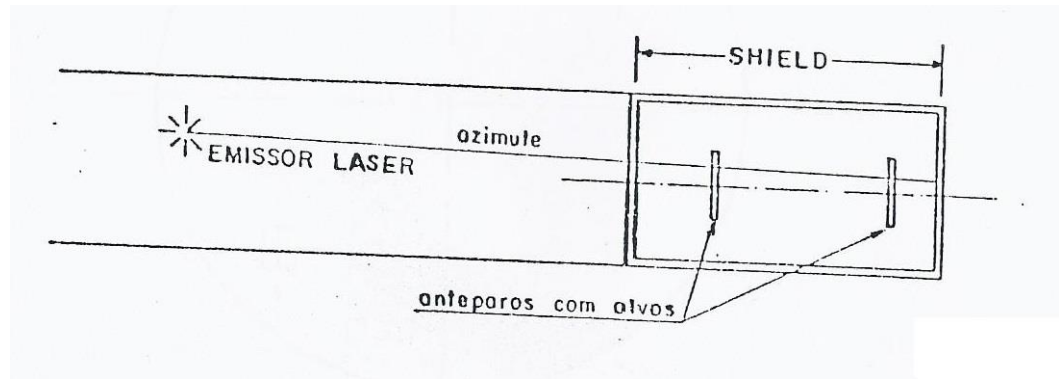


Figura 5.3 – Anteparos do Emissor do Laser
Fonte: GIANNOTTI (2000)

São montados os alvos no par de anteparos, trazendo os pontos de incidência (*off-sets*) teóricos do raio laser no momento da montagem de cada anel, figura 5.4.

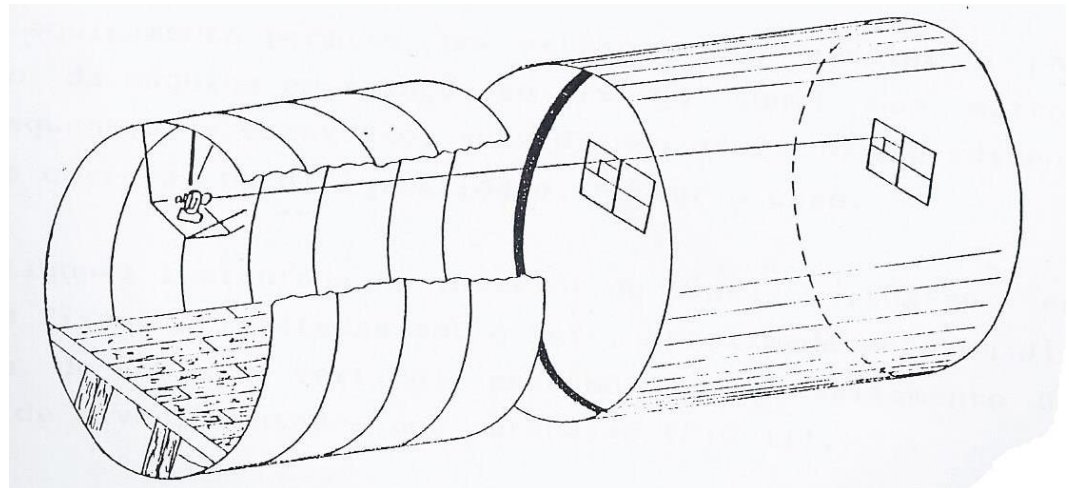


Figura 5.4 – Emissão do Laser
Fonte: GIANNOTTI (2000)

Os alvos e anteparos poderão ser substituídos por modernos equipamentos eletrônicos que instalados na máquina, interceptam o fecho de laser em suas telas e registram num equipamento periférico os valores de afastamento do eixo horizontal do túnel em x,y a rotação do *Shield*, se houver, e a inclinação em relação ao greide.

Esses valores poderão ser solicitados quando desejados, impressos em fita de papel, registrando inclusive o horário das leituras, figura 5.5.

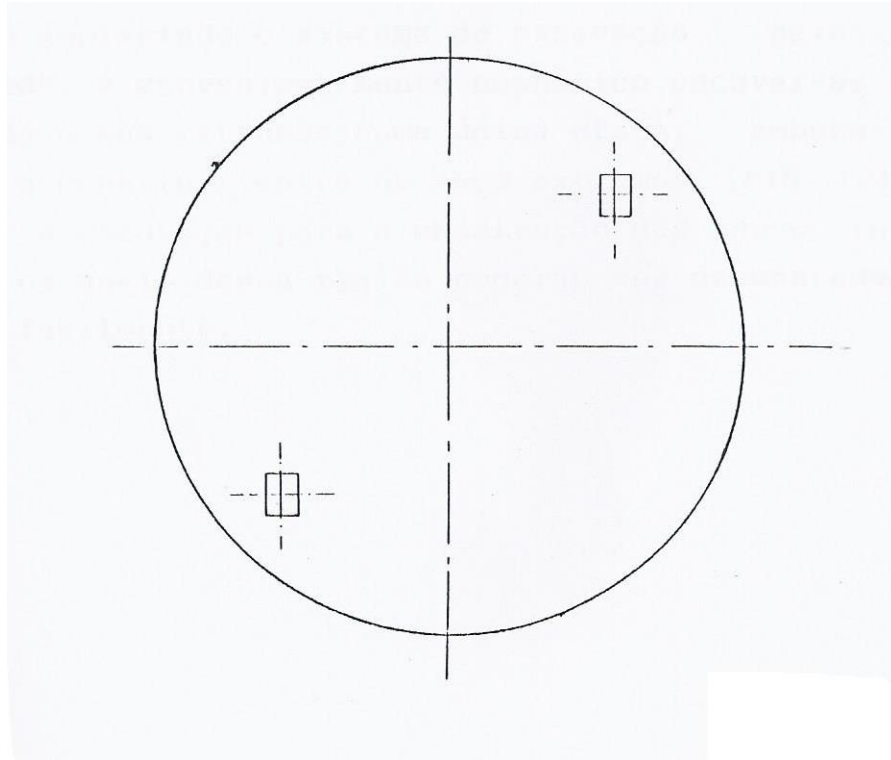


Figura 5.5 – Controle da Emissão do Laser
Fonte: GIANNOTTI (2000)

Esse equipamento permite, por extrapolação, avaliar a posição da máquina em relação ao eixo do túnel nos metros subsequentes de escavação, subsidiando o procedimento de correção na dirigibilidade, se for o caso.

A poligonal implantada no interior do túnel situa-se em bases fixas atirantada sob o teto, aproximadamente na direção do seu eixo vertical, para melhor aproveitamento do jogo de alvos, montados nos anteparos, como na figura 5.6.

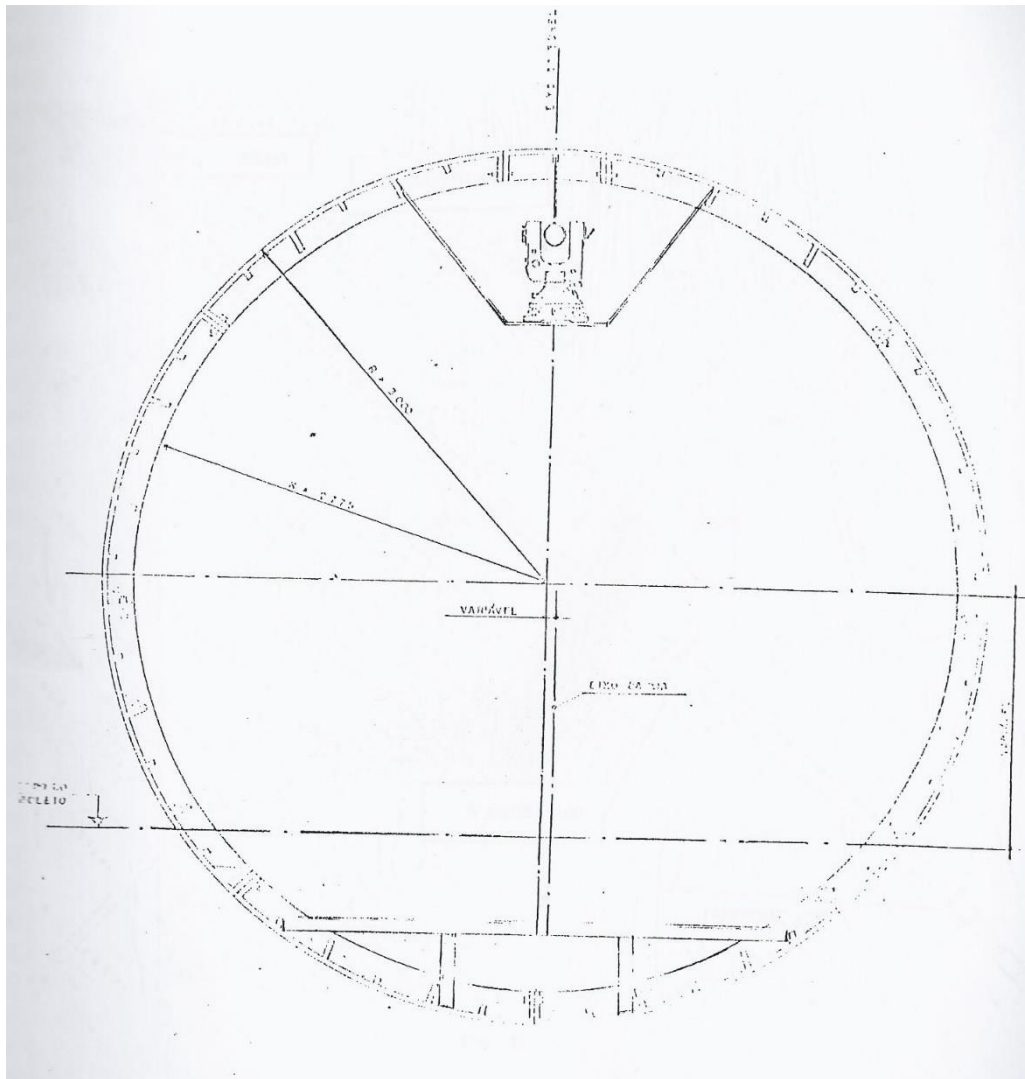


Figura 5.6 – Leitura da poligonal no nível subterrâneo
Fonte: GIANNOTTI (2000)

As estações poligonais que emitem o raio laser nos alvos, deverão localizar-se onde a influência da movimentação do túnel, devido ao avanço da máquina e as injeções de argamassa (*grouting*), seja a mínima possível.

O transporte de referência de nível para este tipo de obra poderá ser pelo método convencional, observando que, como o nivelamento não permite fechamento, deve-se tomar cuidados extremos nesse transporte.

Quando implantado o sistema de escavação pelo método *Shield*, é convenientemente econômico escavar-se o túnel em toda a sua extensão numa etapa única, embora havendo obras a construir entre os seus extremos, na figura 5.7. Quando se der a escavação para a construção das obras intermediárias, os anéis dessa região poderão ser desmontados e removidos facilmente.

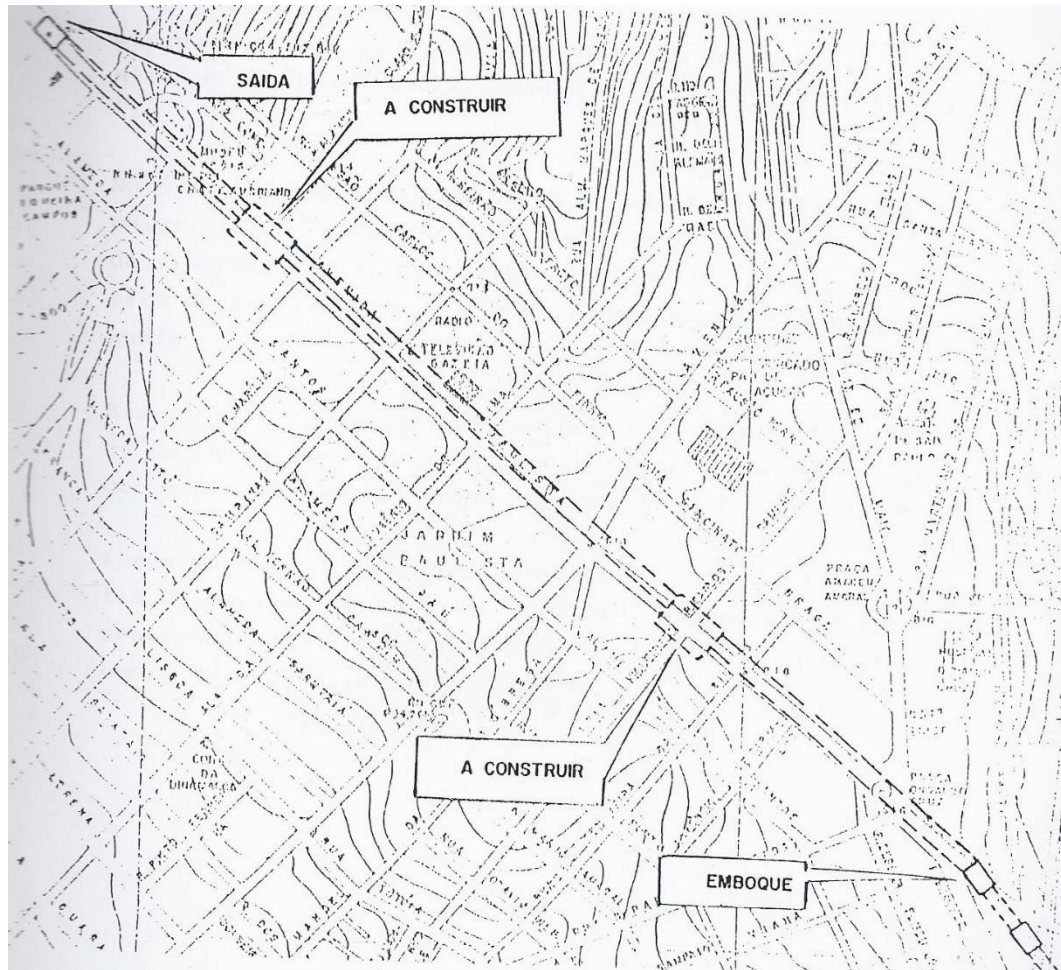


Figura 5.7 – Túnel Escavado pelo Método *Shield*
Fonte: GIANNOTTI (2000)

5.5 Tolerâncias Topográficas

Deve-se manter um sistema adequado de acompanhamento da execução de túneis, de maneira a não serem ultrapassados as tolerâncias topográficas.

Nos projetos dos túneis do Metrô de São Paulo, de seção circular, foram calculados para pontos determinados do eixo da via permanente, os limites de desvios admissíveis do eixo do túnel, durante a fase de escavação e montagem dos anéis.

Esses valores limites calculados em função do gabarito dinâmico do carro, são representados pelos denominados “polígonos de tolerância”, como indicado nas figuras 5.8 e 5.9.

Esses dados são fornecidos pela Companhia Metroviária de São Paulo (CMSP) ao empreiteiro que terá elementos de segurança para a dirigibilidade do *Shield* que é uma operação de sua responsabilidade.

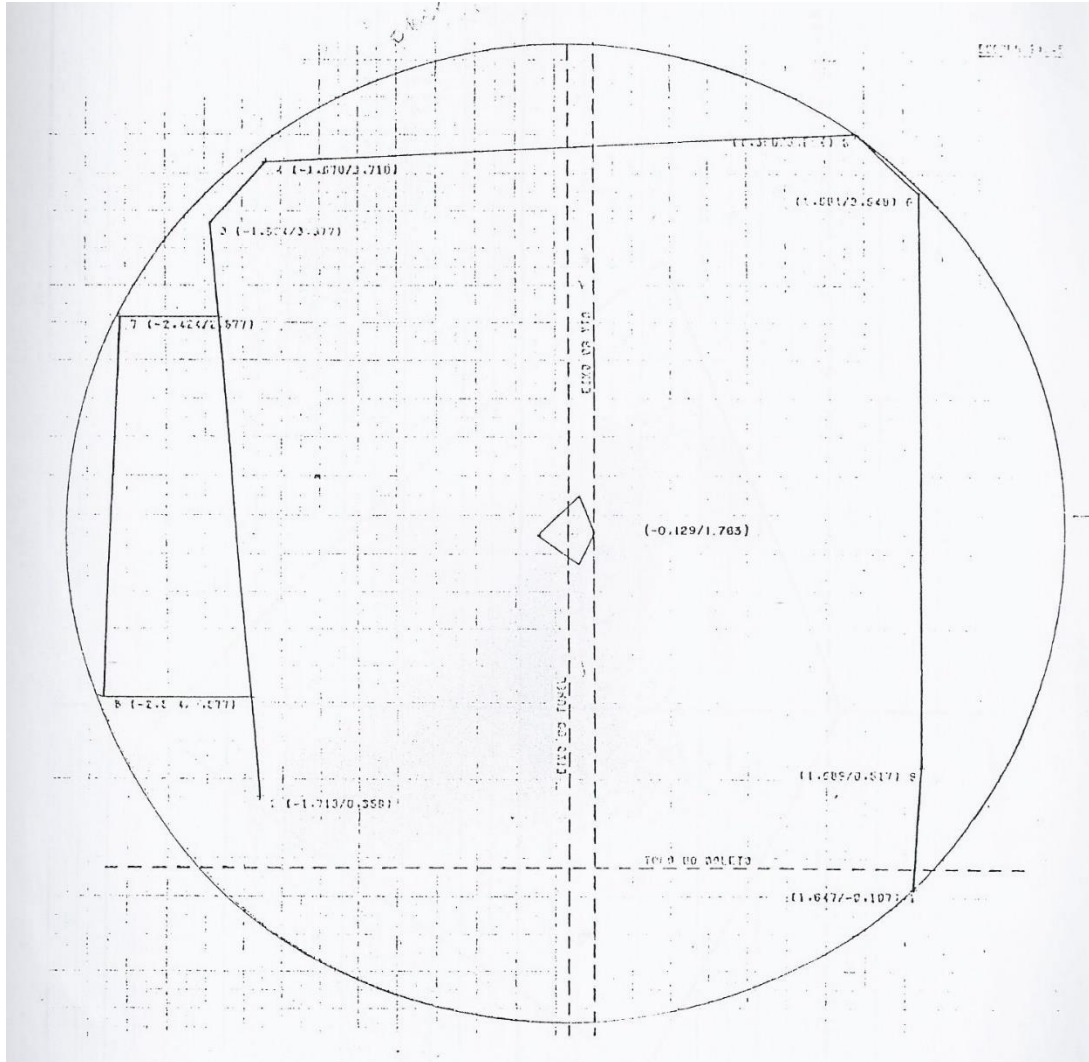


Figura 5.8 – Gabarito Dinâmico
Fonte: GIANNOTTI (2000)

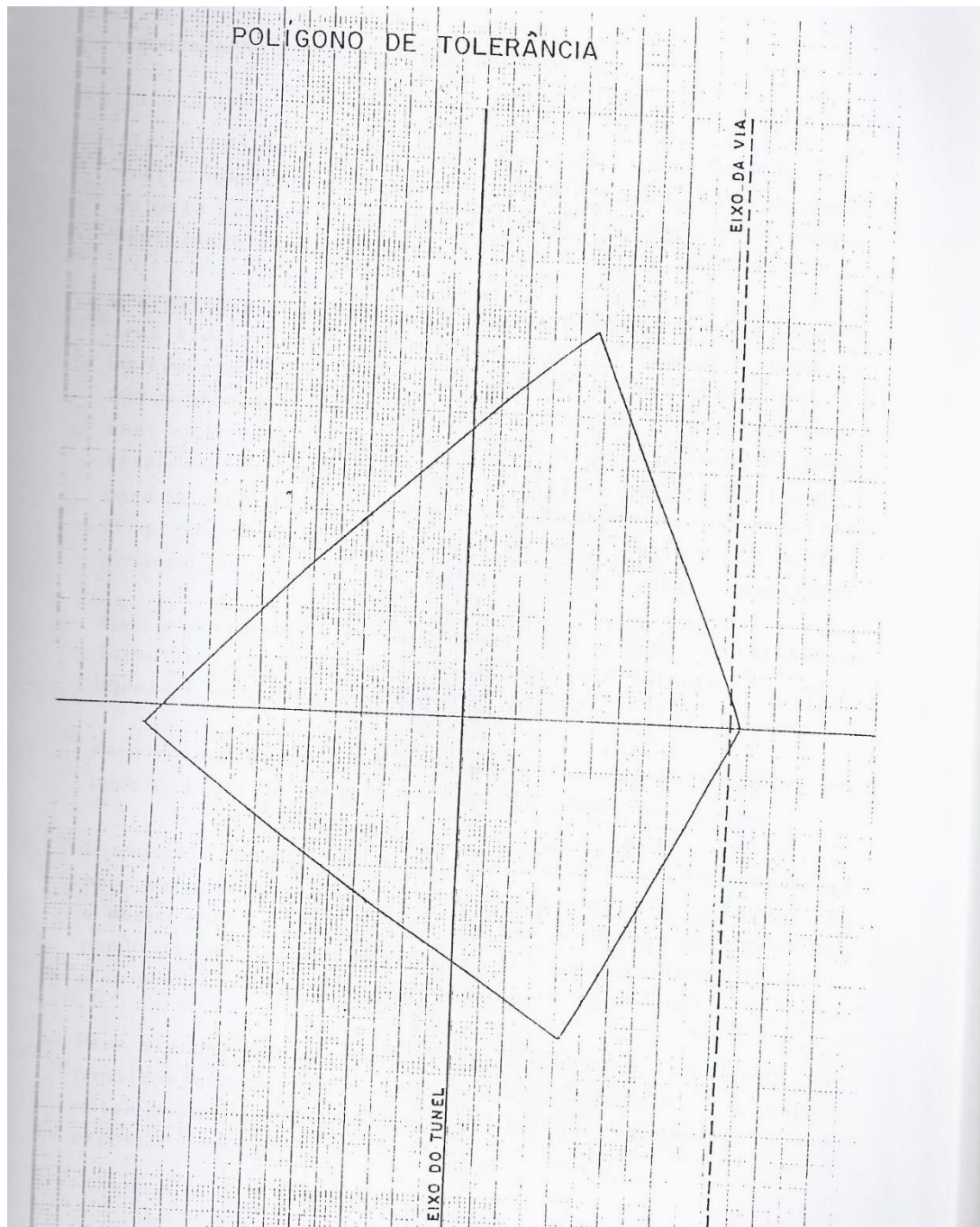


Figura 5.9 – Polígono de tolerância
Fonte: GIANNOTTI (2000)

5.6 Programa e Montagem dos Anéis

A programação do tipo de anel (aço, ferro fundido, concreto, chanfrados ou paralelos), a ser montado é determinada pelo traçado geométrico do túnel e é também de responsabilidade da empreiteira.

O anel chanfrado pode sofrer convenientes rotações entre os seus limites máximos e mínimos, para se adequar à geometria do traçado onde permite ainda montar um trecho curvo de até 200 metros de raio mínimo. A partir disso, intercala-se o anel chanfrado entre os paralelos a fim de atender geometricamente ao traçado horizontal e vertical. Por exemplo: para um raio igual a 400 metros programa-se um anel chanfrado para cada paralelo, para um raio igual a 800 metros, programa-se um anel chanfrado para cada dois paralelos.

Após a montagem do anel, procede-se à injeção de argamassa (*grouting*), para ocupar o espaço vazio existente entre aquele e o terreno escavado. Para os anéis de concreto do modelo expandido, não há necessidade de programar, pois são todos paralelos.

O segmento chave é de formato cônico, a fim de tornar o anel expansível, aumentando o seu diâmetro, permitindo que o mesmo entre em contato direto com o terreno escavado, ocupando assim o espaço vazio que, nos outros tipos de anel, é preenchido com argamassa de cimento (*grouting*).

Para atender ao projeto geométrico do túnel, os anéis expandidos são cunhados convenientemente entre si e o espaço entre eles é preenchido com material que se expande quando exposto à umidade.

A montagem do anel em sua correta posição é determinada pela incidência do laser nos *off-sets* plotados nos alvos que ficam instalados nos anteparos, ou através das leituras registradas pelos inclinômetros. O anel é montado numa sequência pré-determinada, montando em primeiro lugar o segmento do invert, a seguir, os segmentos adjacentes de cada lado, consecutivamente. O anel é fechado com a montagem do último segmento que é a chave. Repete-se sistematicamente esta operação de montagem até o final da escavação.

5.7 Levantamento dos Anéis Montados

Paralelamente aos dados de anéis montados diariamente, fornecidos pela empreiteira à CMSP, é altamente recomendável que a equipe de topografia faça a verificação dos anéis montados, com uma frequência adequada à realidade de montagem.

Para isso, é estabelecida uma linha de poligonal pela lateral do túnel, através de suportes metálicos para teodolito, afixados aproximadamente na altura do diâmetro horizontal do anel, a fim de verificar o posicionamento dos anéis depois de montados e acompanhar as suas movimentações até se divorciarem das influências dos esforços da máquina aplicados no túnel durante os avanços e estabilizarem-se em suas posições definitivas, como na figura 5.10.

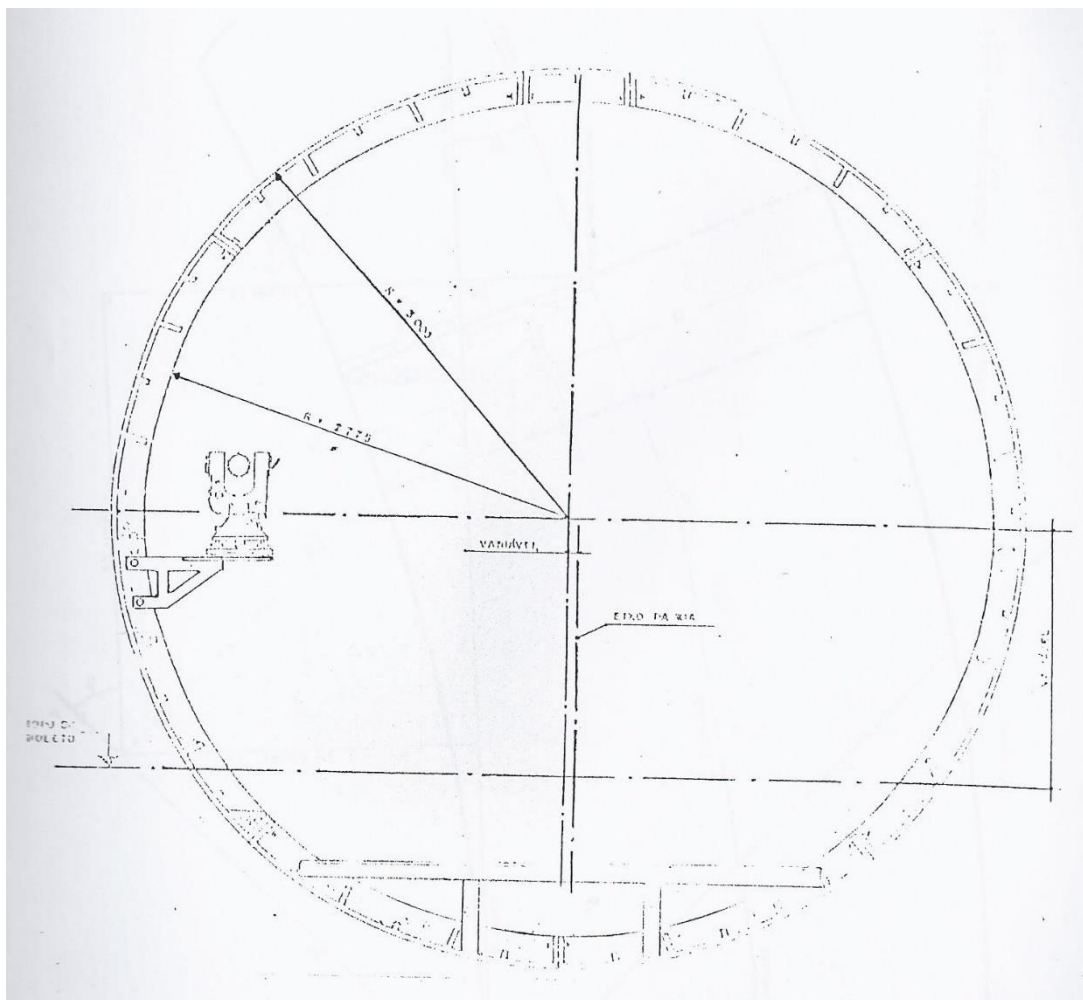


Figura 5.10 – Poligonal pela lateral do túnel
Fonte: GIANNOTTI (2000)

A montagem de anéis acumula inevitáveis erros na soma de seus comprimentos, aproximadamente a cada 50 metros, procedemos a um levantamento para corrigir a

progressiva do túnel que, a esta altura, já apresenta uma perceptível defasagem da posição teórica.

Levantamos também dois pontos na máquina, longitudinalmente na altura do seu diâmetro horizontal, determinamos a sua posição em relação ao eixo teórico do túnel, verificando a possibilidade de tendências para desvios nos próximos metros de escavação, como na figura 5.11.

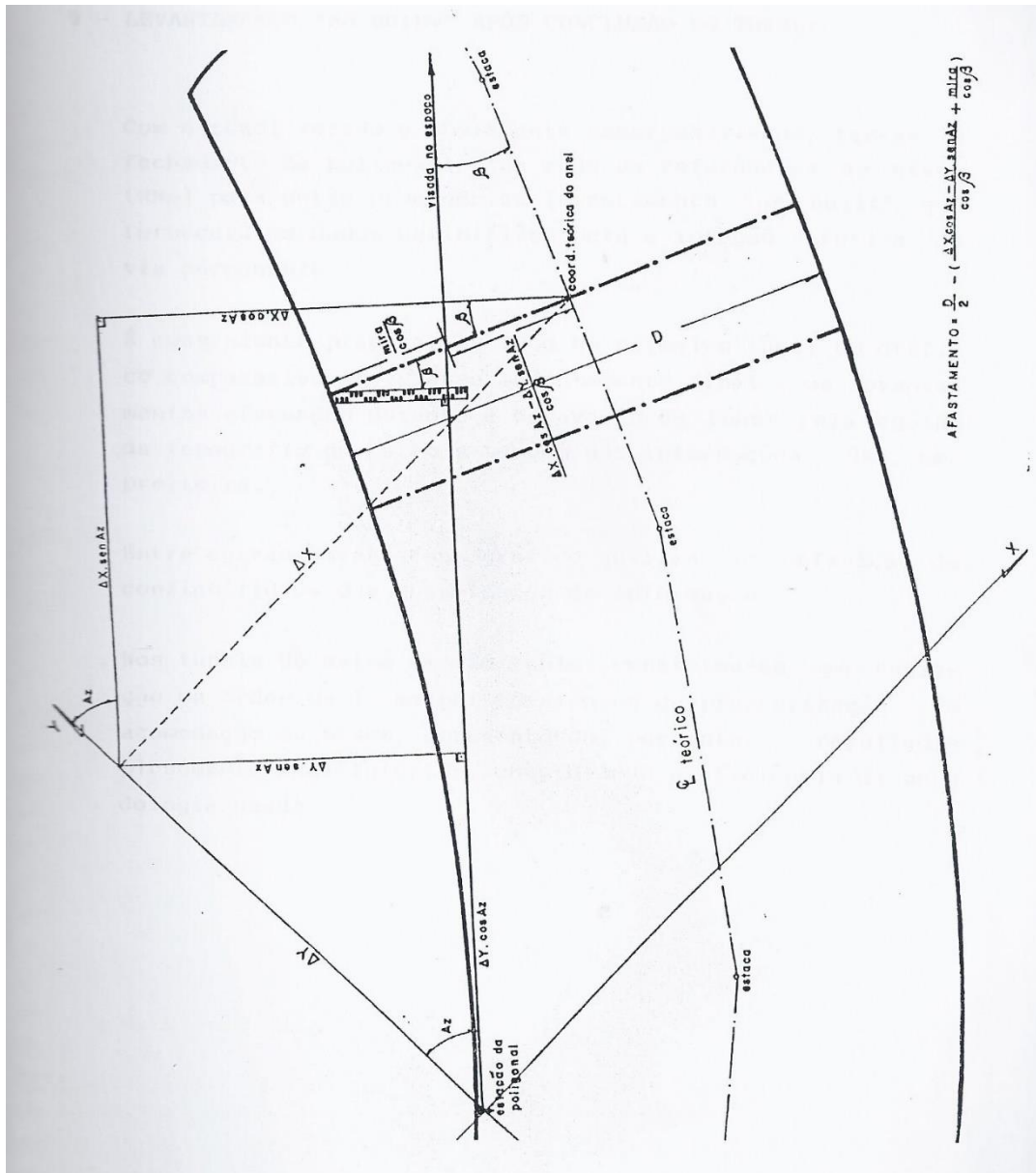


Figura 5.11 – Poligonal de verificação de desvios
Fonte: GIANNOTTI (2000)

5.8 Controle na Execução do Túnel em Shield

A verificação dos anéis montados é altamente recomendável com uma frequência adaptada à realidade de montagem. Para isso estabelece-se uma linha de poligonal com vértices distantes de aproximadamente 60 a 70 metros pela lateral do túnel, através de suportes metálicos para teodolito com centragem forçada, afixados aproximadamente na altura do diâmetro horizontal do anel, a fim de verificar o posicionamento dos anéis montados e acompanhar as suas movimentações até se divorciarem das influências dos esforços da máquina, aplicados no túnel durante os avanços, e estabilizarem-se em suas posições definitivas.

O método prático, para controlar a dirigibilidade do *Shield* que é de responsabilidade da empreiteira, consiste no acoplamento de um emissor de laser num teodolito convencional, materializando no espaço uma direção (azimute), orientada por um fecho de luz que se propaga pelo interior do túnel até a face do terreno a ser escavado, atravessando um par de alvos montados em anteparos afixados na máquina (*Shield*), na posição do seu eixo longitudinal ou paralelamente a este e denominados anteparo da cabeça e anteparo da cauda. Os anteparos são dotados de dispositivos de correção para o plano horizontal, em caso de rotação da máquina.

São montados os alvos no par de anteparos, trazendo os pontos de incidência (*offsets*) teóricos do raio laser no momento da montagem de cada anel.

Os alvos e anteparos poderão ser substituídos por modernos equipamentos eletrônicos que, instalados na máquina, interceptam o fecho de laser em suas telas e registram num equipamento periférico os valores de afastamento do eixo horizontal do túnel em X, Y, a rotação do *Shield*, se houver, e a inclinação em relação ao greide.

Esses valores podem ser solicitados, quando desejados, e impressos em fita de papel, registrando inclusive o horário das leituras.

Esse equipamento permite, por extrapolação, avaliar a posição da máquina em relação ao eixo do túnel nos metros subsequentes de escavação, subsidiando assim o procedimento de correção na dirigibilidade, se for o caso.

Essa poligonal é executada com teodolito T2 pelo método das direções, com 6 séries de leituras conjugadas e com medidor eletrônico Classe 3 ($\pm 5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm} \times D$) com medidas recíprocas (vante e ré), sempre no sentido longitudinal da via ou eixo do túnel.

A montagem dos anéis acumula inevitáveis erros na soma de seus comprimentos e, aproximadamente a cada 50 metros, procede-se um levantamento para corrigir a progressiva do túnel que, a esta altura, já apresenta uma perceptível defasagem da posição teórica, como na figura 5.12.

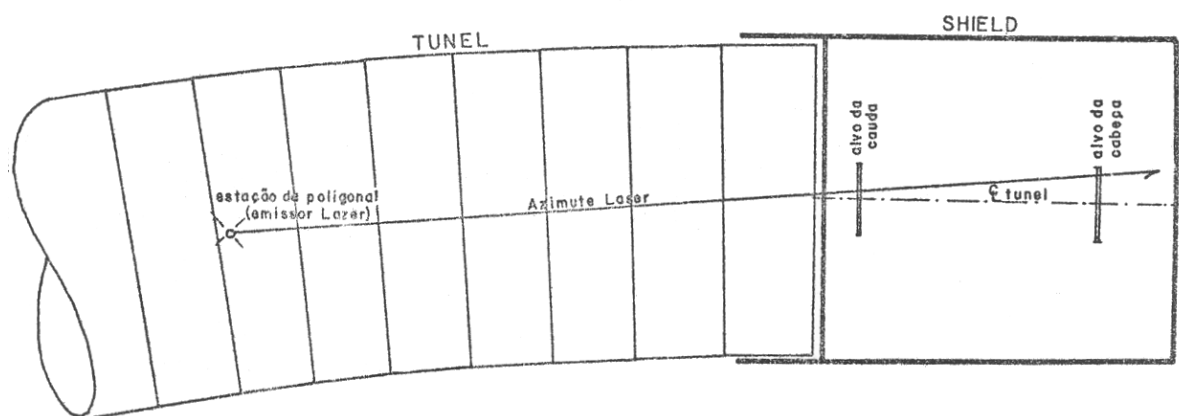


Figura 5.12 – Direcionamento do Emissor Laser
Fonte: GIANNOTTI (2000)

5.9 Controle na Execução do Túnel em NATM

O NATM, desenvolvido por Ladislau Rabcewicz, teve evolução significativa na Europa entre o final da década de 1950 e a primeira metade da década seguinte.

As cambotas treliçadas necessárias à construção dos túneis em NATM são colocadas e montadas pelo empreiteiro e, em seguida verificadas através de levantamentos efetuados pela topografia da Companhia do Metrô de São Paulo.

Para isso, estabelece-se uma linha de poligonal com vértices distantes de aproximadamente 60 a 70 metros pela lateral do túnel através de suportes metálicos para teodolito com centragem forçada, afixados nas cambotas já concretadas, a uma altura convenientemente estabelecida para melhor desempenho dos trabalhos.

Essa poligonal é executada com teodolito T2 pelo método das direções, com 6 séries de leituras conjugadas e com medidor eletrônico Classe 3 ($\pm 5 \text{ mm} + \text{Sppm} \times D$) com medidas recíprocas (vante e ré), sempre no sentido longitudinal da via ou eixo do túnel.

Esse levantamento é efetuado em todas as cambotas montadas, antes da concretagem de primeira fase, em pontos previamente determinados e assinalados.

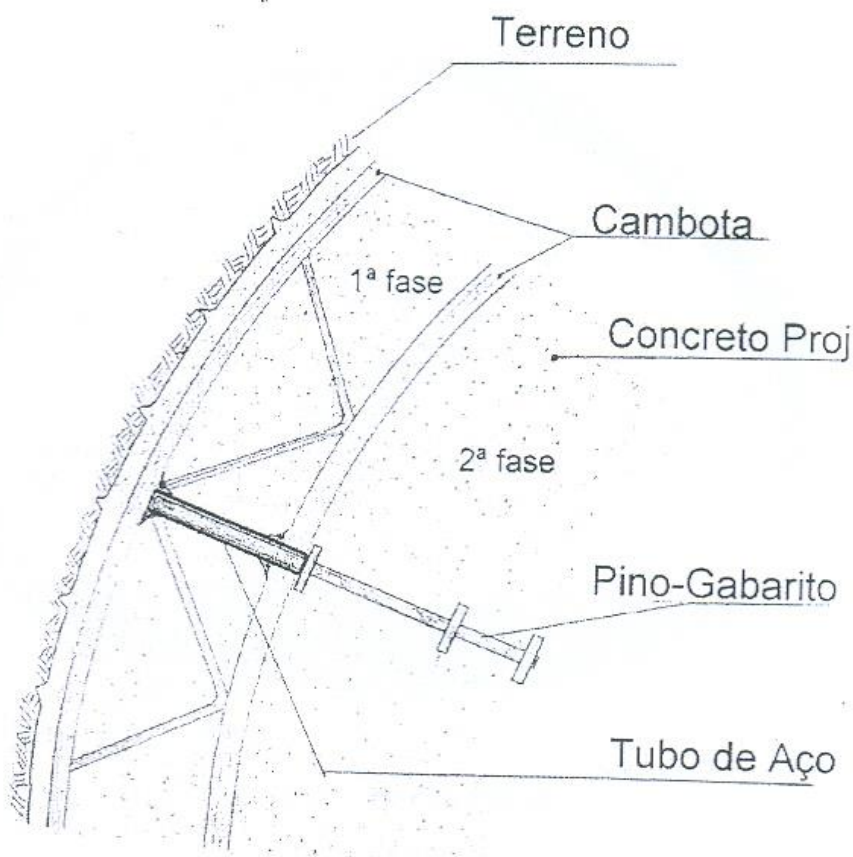


Figura 5.14 – Detalhe do Pino Gabarito
Fonte: GIANNOTTI (2000)

5.10 *As Built do Túnel em Shield*

Com túnel vazado e obviamente despressurizado, faz-se o fechamento da poligonal e da rede de referências de nível (RN's) para então proceder ao levantamento *as built* que fornecerá os dados definitivos para a locação efetiva da via permanente.

É conveniente preparar-se logo no primeiro túnel um gráfico comparativo entre esse levantamento final e os levantamentos efetuados durante a escavação do túnel pela equipe topográfica do Metrô e também das informações da empreiteira. Entre outras coisas esse gráfico auxilia na definição de confiabilidade das duas fontes de informação.

Nos túneis do Metrô de São Paulo constatou-se uma variação da ordem de 15mm por ocasião da despressurização e acomodação do mesmo apresentando resultado plenamente satisfatório, comprovando a eficiência da metodologia usada.

5.11 *As Built do Túnel em NATM*

Com o túnel vazado, faz-se o fechamento da poligonal e da rede de referência de nível, para então proceder ao levantamento *as built* final que fornecerá os dados definitivos para a locação da via permanente.

E conveniente preparar um gráfico comparativo entre esse levantamento final e os levantamentos efetuados durante a escavação do túnel. Entre outras coisas, este gráfico auxilia na definição de confiabilidade das duas fontes de informação.

Nos túneis do Metrô de São Paulo, constatou-se que as variações ficaram dentro das tolerâncias de projeto apresentando, resultados plenamente satisfatórios, comprovando a eficiência da metodologia efetuada (COELHO; SILVA, 1996).

5.12 *Arco Invertido “Invert”*

O assentamento da via permanente em túneis de seção circular, escavados pelo sistema *Shield* obedece a um método que se desenvolve por etapas:

5.12.1 *Primeira Etapa*

Efetua-se a concretagem de um lastro de regularização longitudinal com arrasamento de aproximadamente 70cm abaixo da cota altimétrica de topo do boleto do trilho mais baixo, como na figura 5.15.

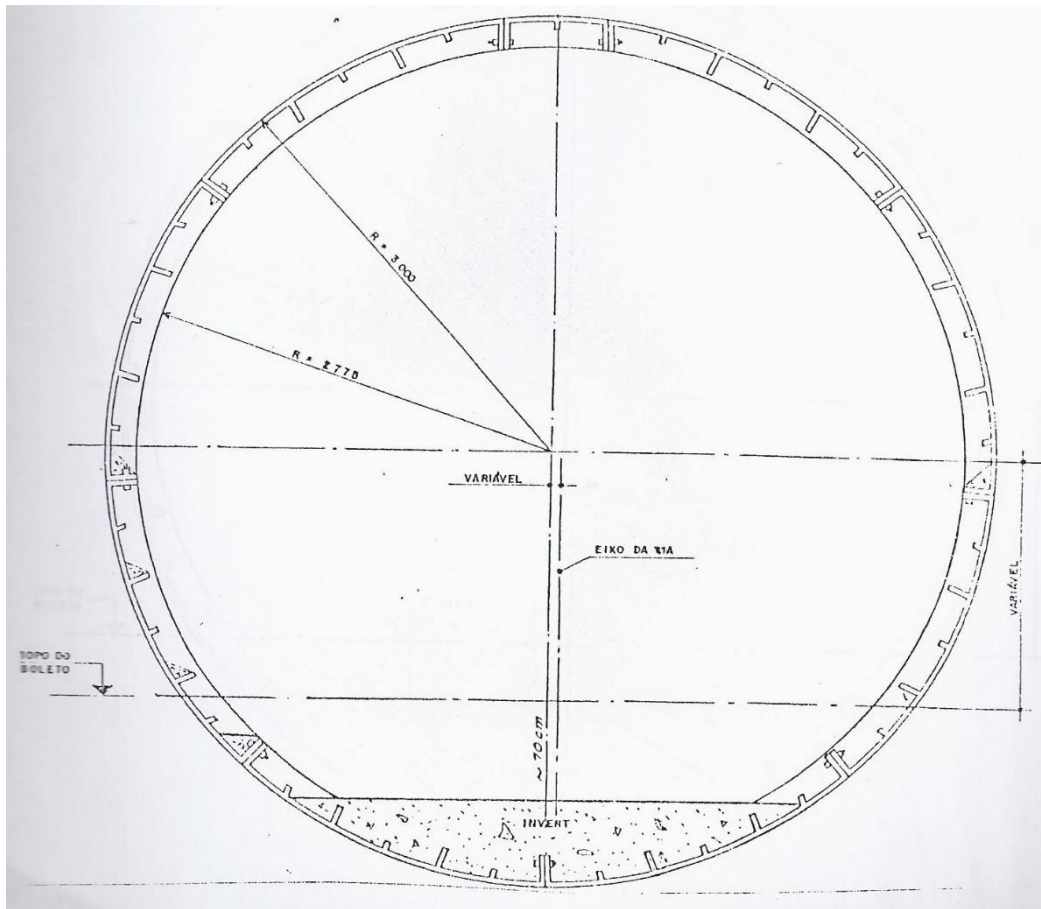


Figura 5.15 – Primeira Etapa
Fonte: GIANNOTTI (2000)

5.12.2 Segunda Etapa

Efetua-se a concretagem estrutural arrasando ao nível do piso definitivo do túnel, incorporando nessa etapa a canaleta de drenagem, a ferragem de espera para as vigas de suporte dos trilhos e a ferragem de arranque para a passagem de emergência, como na figura 5.16.

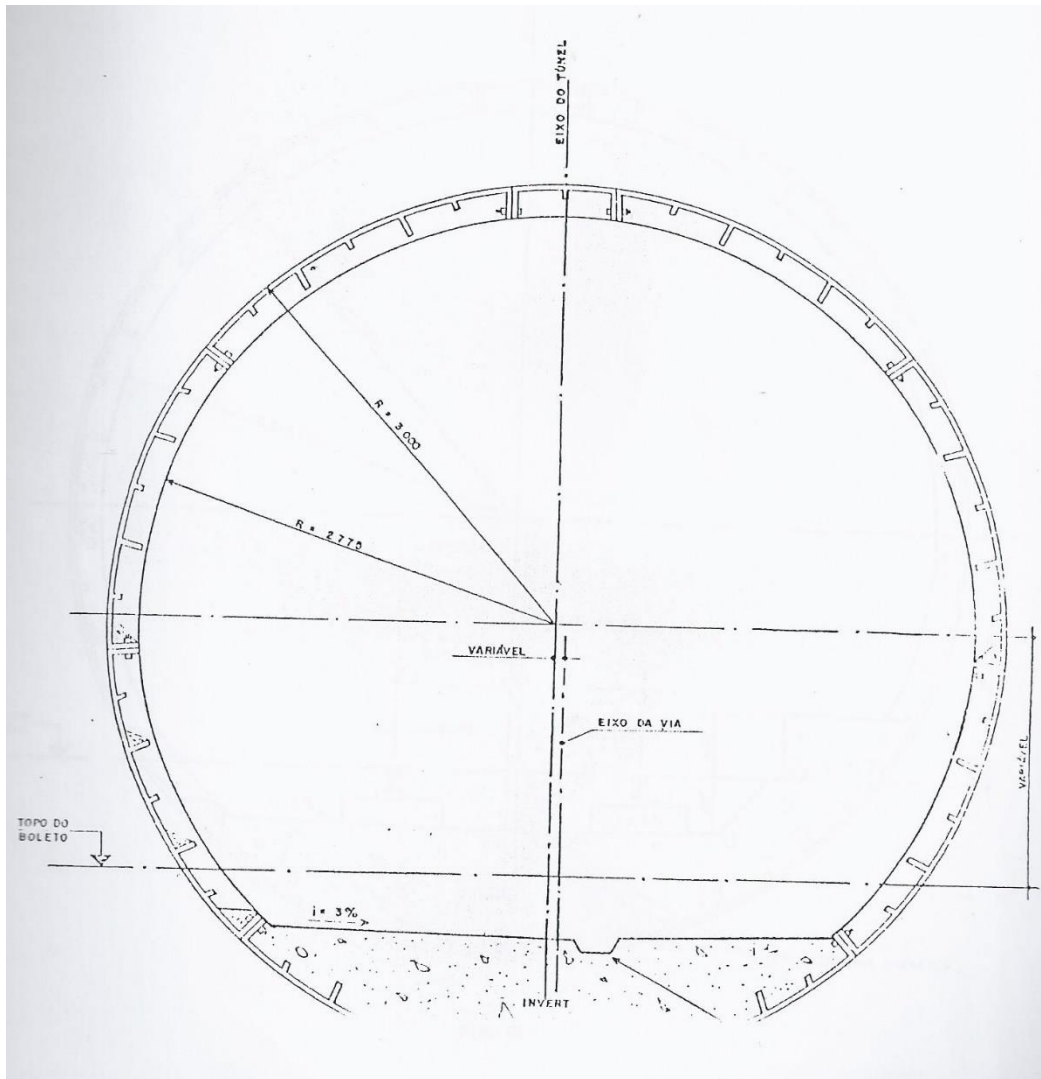


Figura 5.16 – Segunda Etapa
Fonte: GIANNOTTI (2000)

5.12.3 Terceira Etapa

Efetua-se a concretagem das vigas de suporte dos trilhos e do primeiro nível da passagem de emergência, como mostra a figura 5.17.

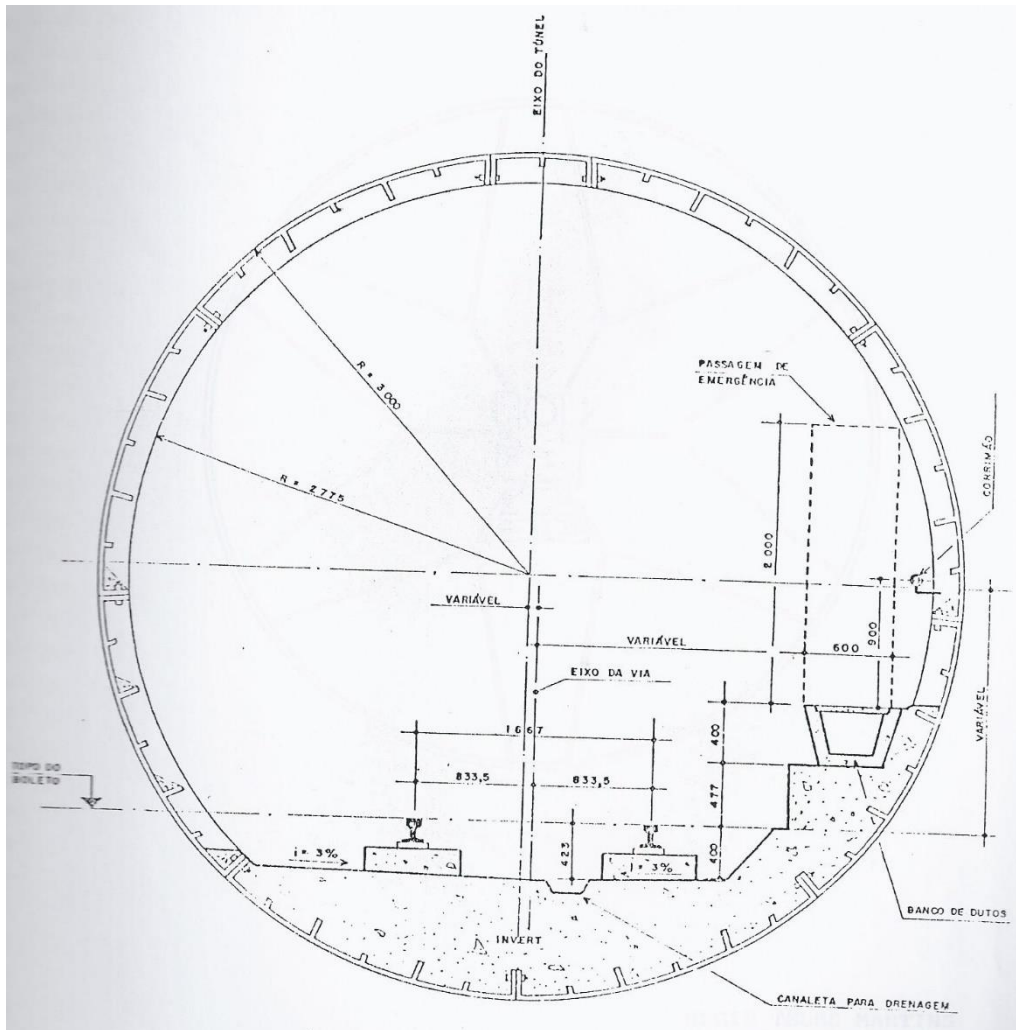


Figura 5.18 – Quarta Etapa
 Fonte: GIANNOTTI (2000)

6 INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS

Este capítulo tem o intuito de apresentar os principais equipamentos utilizados em obras subterrâneas como o scanner, nível laser, estação total robótica e estação total, trazendo alguns exemplos de aplicação em diferentes tipos de obras, com as principais características e finalidade, e alguns comparativos de performance para a otimização no processo do trabalho topográfico em obras metroviárias.

6.1 *Scanner a Laser I-SiTE*

O I-SiTE é um dispositivo de scanner a laser que permite medir a posição no espaço e cor natural de 6.000 pontos por segundo, detalhando em três dimensões objetos, superfícies e estruturas. Esse capítulo mostra resultados de trabalhos feitos nas minas de Taquari-Vassouras e Timbopeba, no Porto de Tubarão, com o objetivo de revelar a real topografia. Esse método de levantamento topográfico é promissor no que tange à produtividade e eficiência, com diversas áreas de aplicação.

O sistema de scanner a laser I-SiTE da Maptek é um método de levantamento topográfico terrestre desenvolvido para recompilar informações em três dimensões de qualquer lugar, em uma grande escala, de maneira rápida e direta. O sistema registra exatamente a localização e características de superfícies em áreas mineiras, industriais e urbanas, tanto na superfície quanto em subsolo. O I-SiTE mede a posição em três dimensões, cor natural e intensidade de reflexão de seis mil pontos por segundo sem a necessidade de refletores, utilizando um sistema de levantamento por pulsos laser, permitindo desse modo definições tridimensionais de objetos e estruturas, na figura 6.1.



Figura 6.1 – Scanner a Laser I-SiTE em Timbopeba
Fonte: ROCHA (2002)

O aparelho possui alcance de 550 metros e amplitude angular de 340 graus na horizontal e 80 graus na vertical. A precisão em cada ponto é de 8 a 25 milímetros. O sistema apresenta três alternativas de resolução: baixa, média e alta, permitindo capturar, respectivamente, cerca de 100.000, 500.000 e 2.000.000 de pontos em cada tomada. A fonte do laser é de classe 1, aprovada para uso civil, não apresentando danos aos olhos. Os tempos de aquisição dos pontos variam entre quinze segundos a três minutos, em função da resolução escolhida.

6.1.1 Utilização

Mediante a utilização do equipamento a laser I-SiTE, pode-se realizar levantamentos totalmente tridimensionais, refletindo exatamente o estado da topografia do terreno. A aquisição e a geração das informações são rápidas e precisas, reduzindo drasticamente o tempo de resposta da topografia para quaisquer clientes na mina, como planejamento, geologia, geotecnia, engenharia civil, entre outros. Diversas são as aplicações dessa tecnologia:

- Cubagens de desmontes;

- Controle de ângulo de talude;
- Controle dos avanços na cava;
- Análise em tempo real como ângulos, distâncias;
- Levantamentos noturnos ou de minas subterrâneas;
- Cubagens de pilhas pulmão e depósito de estéril;
- Levantamento de volumes de caçambas e conchas dos equipamentos;
- Levantamentos de infraestruturas civis como estradas e ferrovias;
- Levantamento de estruturas geológicas como falhas e dobras;
- Distinção dos contatos litológicos por cores e texturas;
- Monitoramento de cavidades, erosões, deslizamentos, etc.

6.1.2 Exemplo de Aplicação

Alguns trabalhos com o sistema I-SiTE foram realizados no Brasil. Esses trabalhos consistiram em fazer levantamentos de áreas de interesses com posterior tratamento dos dados. Das tomadas realizadas em cada trabalho, pontos são levantados com suas respectivas coordenadas em três dimensões. Esses pontos são tratados de forma a eliminar informações alheias ao levantamento topográfico como pessoas, equipamentos, postes, etc.

As tomadas são feitas em locais diferentes, sendo separadas em função do alcance do aparelho e da melhor visada. Para a amarração das tomadas, métodos topográficos convencionais são utilizados, o que permite localizar todas as tomadas no sistema de coordenadas locais. O método consiste em definir o ponto onde está localizado o scanner e um ponto de amarração em qualquer direção. A partir disso, o software I-SiTE pode unir todas as varreduras em uma só vista, compondo a cena final.

6.1.2.1 Mina de Timbopeba

Realizou-se um trabalho de levantamento de um talude instável de quartzito, bem como a obtenção da topografia completa da cava da mina de Timbopeba, Companhia Vale do Rio Doce. Para obter o levantamento topográfico da superfície, foram feitos vinte

levantamentos, todos realizados com resolução baixa, cuja média foi de aproximadamente oitenta mil pontos e um tempo médio de aquisição de quinze segundos para cada tomada.

Na primeira parte do trabalho, os pontos para amarração das tomadas foram obtidos com um sistema de GPS e posteriormente com o sistema de estação total.

6.1.2.2 Mina de Taquari-Vassouras

Realizou-se um trabalho de levantamento de um painel da mina subterrânea de Taquari-Vassouras, Companhia Vale do Rio Doce. No setor C4, painel F3, oito varreduras foram realizadas com resolução baixa, com uma média de cento e quarenta mil pontos coordenados em três dimensões em cada tomada.

Os pontos para amarração das tomadas foram obtidos a partir de teodolitos eletrônicos.

6.1.2.3 Porto de Tubarão

Realizou-se um trabalho de levantamento de uma pilha de minério formada por uma empilhadeira no Porto de Tubarão, Companhia Vale do Rio Doce. Foram feitos dois levantamentos em resolução média, com aproximadamente cem mil pontos em cada tomada e tempo de aquisição de um minuto. Os pontos para amarração das tomadas foram obtidos com um sistema de GPS.

6.1.3 Resultados

O resultado dos levantamentos é uma nuvem de pontos topográficos em três dimensões que é transferida para o software segundos após o término da varredura. Na tela do software, os dados podem ser rotacionados e visualizados de qualquer ângulo. Após a amarração das tomadas, é possível visualizar uma cena coordenada da superfície.

O software filtra pontos automaticamente, reduzindo o tamanho dos arquivos criados. Desta maneira permite uma fácil manipulação dos pontos na tela, mantendo localizadas as quebras na superfície ou mudanças de ângulos, e a integridade da informação, ou seja, não há perda de precisão ou detalhes.

6.1.3.1 Mina de Timbopeba

Esse trabalho completo foi feito em dois dias. Como comparação, métodos convencionais de topografia demorariam trinta dias para levantar toda a mina, porém sem o grau de detalhes adquirido. Também foi possível fazer o levantamento de um talude de quartzito totalmente instável, que não permitia acesso aos topógrafos com equipamentos convencionais, na figura 6.2.

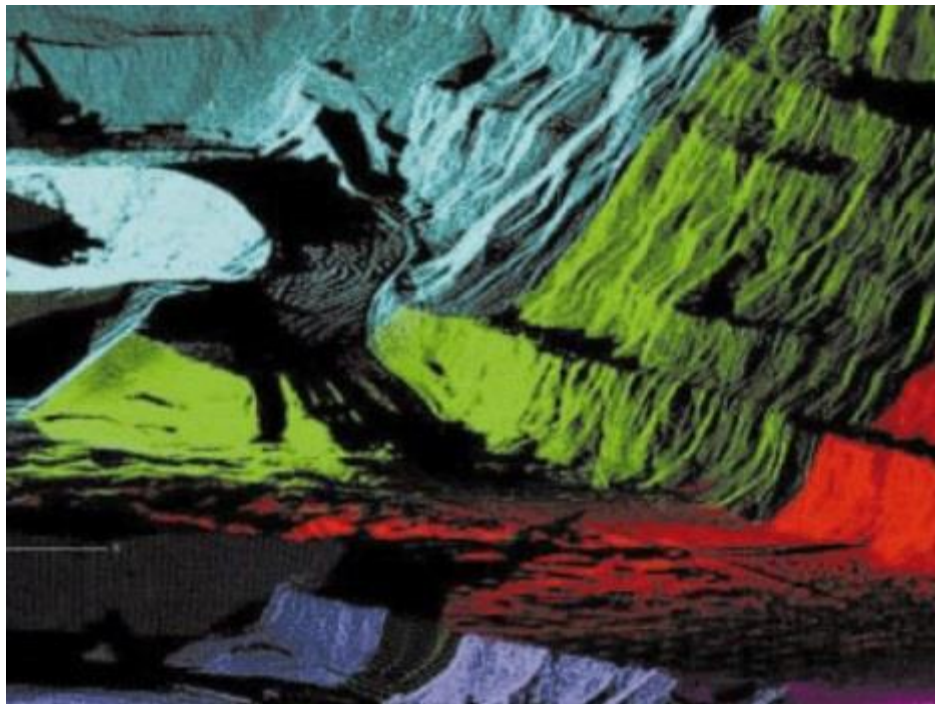


Figura 6.2 – Quatro Tomadas Compondo um Talude
Fonte: ROCHA (2002)

Após a filtragem, foram geradas triangulações que são reflexos reais da topografia, figura 6.3.

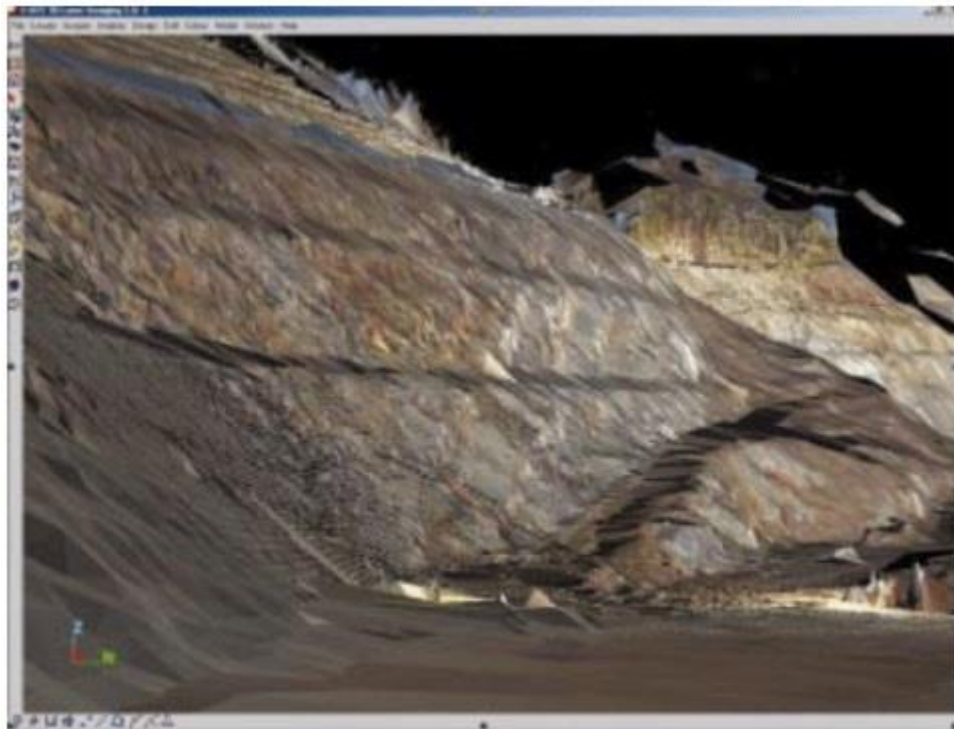


Figura 6.3 – Triangulação do Talude Instável de Quartzito
Fonte: ROCHA (2002)

6.1.3.2 Mina de Taquari-Vassouras

Nesse trabalho foram obtidos resultados concretos a partir de um levantamento e um processamento que não duraram mais de 3 horas para serem realizados.

As seções da mina são levantadas coletando altura e largura a cada cinco metros, porém, como pode ser visto na figura 6.4, a mina de Taquari-Vassouras tem uma seção muito peculiar por ser lavrada por minerador contínuo. A superfície levantada utilizando o Sistema I-SiTE é muito detalhada e precisa proporcionando resultados incomparáveis para o cálculo de volumes.

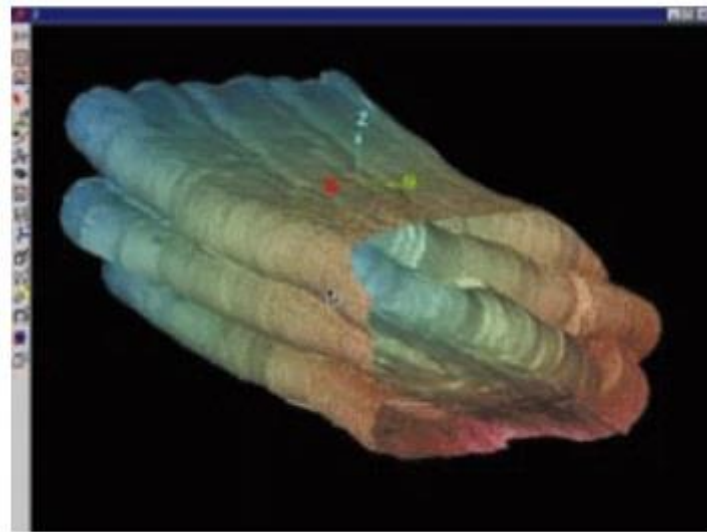


Figura 6.4 – Triangulação de Tomada Feita no Fim de uma Galeria
Fonte: ROCHA (2002)

6.1.3.3 Porto de Tubarão

Nesse trabalho, o levantamento topográfico da pilha, a filtragem dos dados e a geração da triangulação para o cálculo do volume da pilha duraram menos de 1 hora, figura 6.5.

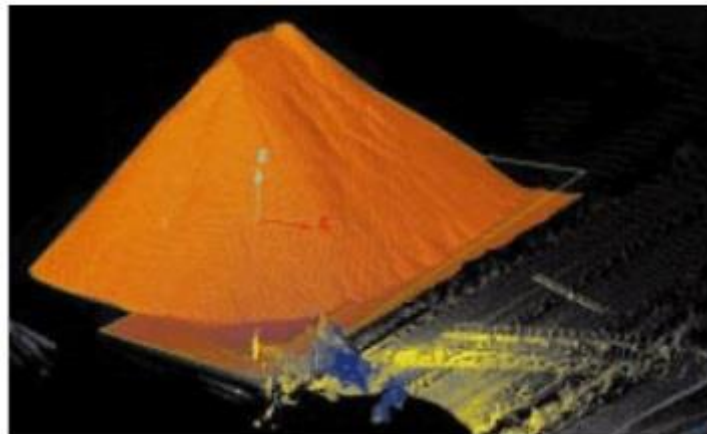


Figura 6.5 – Triangulação da Pilha de Minério
Fonte: ROCHA (2002)

Tanto os pontos topográficos quanto as triangulações geradas no software podem ser exportados para outros softwares de topografia como AutoCAD, topoGRAPH, Vulcan, etc., para cálculo dos volumes, geração das curvas de níveis, seções, linhas de pé e crista, etc.

6.1.4 Comentário

O sistema a laser I-SiTE é uma inovadora ferramenta para o desenvolvimento de muitas aplicações no processo de mineração. A possibilidade de obter as informações e a possibilidade de processá-las de uma forma tão rápida permitem analisar a topografia e planejar as estratégias de forma simultânea com o avanço da operação da mina, diminuindo ao mínimo a lacuna existente entre o trabalho de escritório e de campo.

Dadas às características, o sistema I-SiTE possui claras vantagens em relação aos outros sistemas tradicionais, no que tange à aplicação, ao rendimento, à velocidade, à precisão e à segurança, já que permite capturar informação topográfica em lugares inacessíveis como tetos e galerias irregulares, etc. Na figura 6.6 um comparativo entre equipe com laser scanner e equipe de topografia.

<u>01 Equipe Laser Scanner:</u> - 01 Topógrafo - 01 Auxiliar - 01 Laser Scanner - 02 Receptores GNSS RTK - 02 Tripés - 01 Carro	=	<u>07 Equipes de Topografia:</u> - 07 Topógrafos - 14 Auxiliares - 07 Estações totais - 07 Tripés - 14 Prismas - 14 Bastões - Pelo menos 03 Kombi
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 6.6 – Comparativo entre Laser Scanner e Equipe topográfica
 Fonte: PARZZANI (2013)

6.2 Nível Digital – Leica da Digital Levels

O nível digital é uma ferramenta que otimiza a operação de nivelamento por meio da qual se determina a diferença de altura (desnível) entre dois ou mais pontos em relação a um ponto chamado Referência de Nível (RN), portanto a distância entre as superfícies equipotenciais que passam por esses pontos. O nível digital traz ferramentas que permite medir a diferença de altura e comparar com um ponto conhecido permitindo o ajuste de erros de forma rápida, como ilustra a figura 6.7.

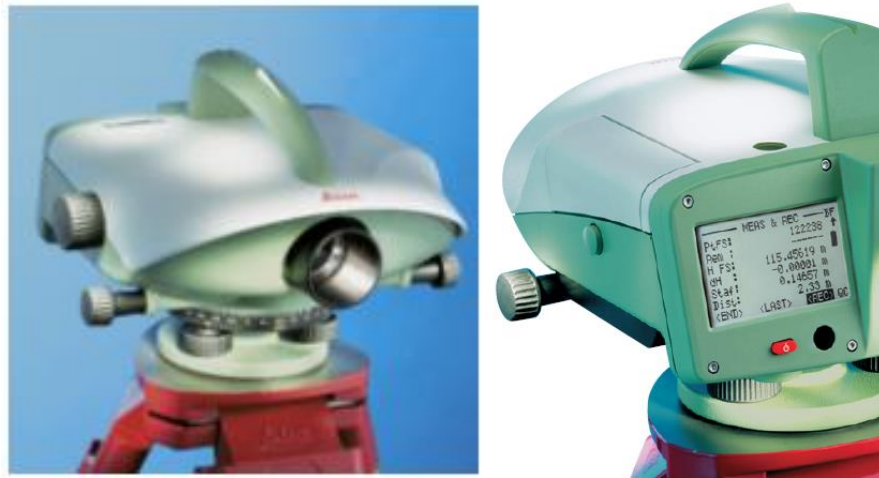


Figura 6.7 – Nível Digital – Leica DNA
Fonte: Leica Geosystems (2006)

6.2.1 Utilização

O Nível digital DNA03 e DNA10 abrange toda gama de aplicações do local da construção para as tarefas de primeira ordem até o fim do nivelamento. O Nível digital DNA03 possui medição de altura com desvio padrão de 0,3mm por km duplo de nivelamento com mira invar. O Nível digital DNA10 possui medição de altura com desvio padrão de 0,9mm por km de duplo nivelamento com mira invar.

6.2.1.1 Características Gerais

- Correção do erro de colimação;
- Redução do campo de visão;
- Formato de saída dos dados;
- Staffs e acessórios;
- Software de avaliação;

Abaixo é apresentado a figura 6.8 com as principais características técnicas do nível digital do fabricante.

Technical data	LEICA DNA03	LEICA DNA10
Area of use	- Quick measurements of heights, height differences and stake outs	- Quick measurements of heights, height differences and stake outs
	- I. and II. order levelling	- Cadastral levelling
	- High precision measurements	- Precision measurements
Accuracy	Standard deviation height measurement per 1km double-run (ISO 17123-2)	
Electronic measurements:		
with Invar staffs	0.3mm	0.9 mm
with standard staffs	1.0mm	1.5 mm
Optical measurements	2.0mm	2.0 mm
Distance measurement (standard deviation)	(electr.) 1 cm/20m (500 ppm)	
Range		
Electronic measurement	1.8m – 110 m	
Optical measurement	from 0.6 m	
Electronic measurement		
Resolution height measurement	0.01 mm, 0.0001 ft, 0.0005 inch	0.1 mm, 0.001 ft
Time for single measurement	typically 3 seconds	
Measurement modes	Single, average, median, repeated single measurements	
Measurement programs	Measure & Record, staff height/distance, intermediate BF, aBF, BFFB, aBFFB, onboard adjustment, quick closure, stakeout	
Coding	Remark, Free code, Quick code	
Data storage		
Internal memory	6000 measurements or 1650 station	
Backup	PCMCIA card (ATA-Flash/SRAM/CF)	
Online operations	GSI format via RS232	
Data exchange internal memory	GSI8/GSI16/XML/flexible formats	
Telescope magnification	24x	
Compensator		
Type	Pendulum compensator with magnetic damping	
Slope range	±10'	
Compensator setting accuracy (standard deviation)	0.3"	0.8"
Display	LCD, 8 lines at 24 characters	
Battery operated		
GEB111	12h operation	
GEB121	24h operation	
Battery adapter GAD39	Alkaline battery, 6x LR6/AA/AM3, 1.5 V	
Weight	2.8kg (incl. battery GEB111)	
Environmental conditions		
Working temperature	-20°C to +50°C	
Storage temperature	-40°C to +70°C	
Dust/water (IEC60529)	IP53	
Humidity	95%, non condensing	

Figura 6.8 – Características Gerais

Fonte: Leica Geosystems (2006)

6.2.1.2 Nivelamento e Levantamento de área

O Nível digital da Leica, ilustrado na figura 6.9, possui recursos para o adequado nivelamento, levantamento de pontos e distâncias. Desta forma é possível fazer verificações de tolerância e ajustá-las para obter segurança nos dados levantados.



Figura 6.9 – Nível Digital no Campo
Fonte: Leica Geosystems (2006)

6.2.1.3 Nivelamento na Construção

O nivelamento do canteiro de obra e estruturas da construção são determinadas a partir das dimensões, níveis e posições na qual são levantados e armazenados os dados. Assim a irradiação dos pontos notáveis realizados com precisão, a partir da visada horizontal, como na figura 6.10.



Figura 6.10 – Irradiação dos Pontos Notáveis
Fonte: Leica Geosystems (2006)

6.2.1.4 Correção da Curvatura da Terra

O Nível digital da Leica possui recurso para correção da influência da curvatura terrestre e refração, na figura 6.11.

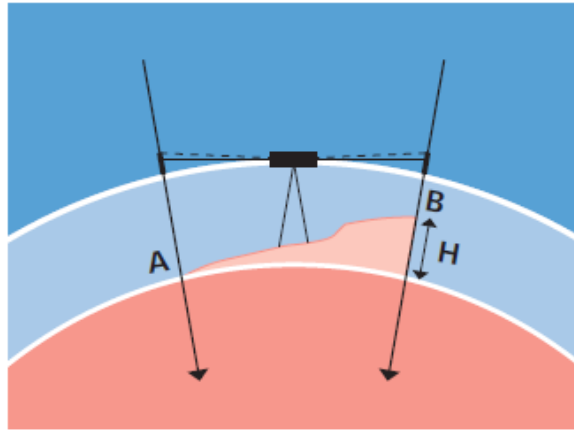


Figura 6.11 – Correção da Curvatura da Terra
Fonte: Leica Geosystems (2006)

6.2.2 Comentário

O uso do nível digital aumenta a produção em até 50% quando comparado com nível óptico convencional. Os principais motivos são devidos a captura de dados mais rápida e mais seguro o processo de armazenamento de dados, como mostra a figura 6.12.

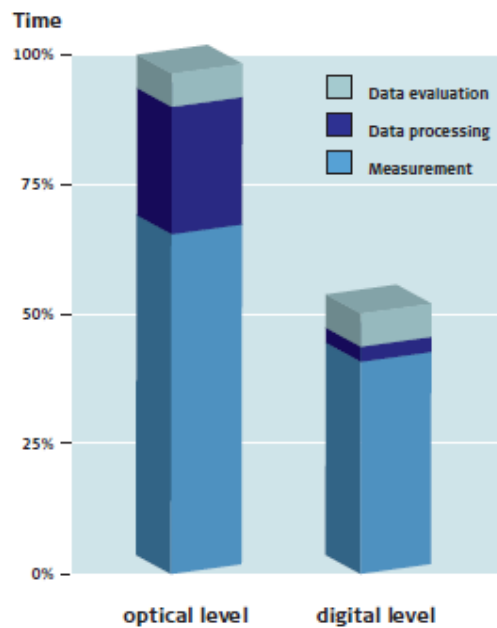


Figura 6.12 – Comparativo entre Nível Digital e Óptico
Fonte: Leica Geosystems (2006)

6.3 Estação Total Robotizada

A construção do túnel usando a Tunnel Boring Machines (TBM) implica no posicionamento preciso da máquina e sua orientação no espaço subterrâneo. A Estação Total Robotizada oferece recursos automatizados para as-build e controle de execução. A prática corrente para orientação do TBM depende muito do sistema de laser, que protege o ponto de laser sobre uma placa do alvo fixo no TBM. A operação desse sistema é como dirigir na escuridão, devido a imprevistos geológicos ou obstáculos, que complicam o controle do alinhamento do túnel, gerando erros acima das tolerâncias. Pode levar semanas para determinar os desvios do alinhamento, acarretar grandes prejuízos e atrasos no prazo de entrega.

O item mostra 6.13 as principais etapas na automação para TBM, no que tange a orientação e posicionamento, num processo contínuo no rastreamento do espaço subterrâneo com redes de sensores sem fios, também conhecido wireless, visando verificar o progresso do túnel no eixo do projeto, linha e grau de desvios do alinhamento do túnel, eixos de rotações do corpo do TBM e a coordenadas dos pontos, oferecendo recursos para ações em tempo real para tomadas de decisão.



Figura 6.13 – Robótica
Fonte: Leica Geosystems (2006)

6.4 Utilização

A estação total robotizada proporciona precisão e desempenho inigualáveis, definindo novos padrões de prospecção das aplicações, pois oferece medições angulares com precisão de 0,5" para cumprir as mais exigentes normas de levantamentos. As distâncias

podem ser medidas com precisão de $0,6 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ usando prismas. No terreno natural, a precisão é de $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ até mil metros sem o auxílio de prismas.

É possível obter o máximo de velocidade e produtividade, mantendo alta precisão sob as mais exigentes condições de projeto. Permite o levantamento dinâmico e ininterrupto em quaisquer ambientes e proporcionando trabalhos com baixo consumo de baterias por meio da gestão inteligente de energia.

Permite aos usuários customizar o equipamento para utilizá-lo como GPS para obtenção imediata das coordenadas da estação total. Além disso, a antena no topo de um bastão, acima de um prisma 360° permite uma configuração rápida e precisa para aumento da produtividade.

6.4.1 Sistema de Orientação

Uma estação a laser é firmemente fixada no interior do túnel, de onde projeta um ponto de laser sobre uma placa de alvo montado no TBM, como na figura 6.14. Com base nos offsets do ponto de laser na placa, o operador da TBM dirige a máquina.



Figura 6.14 – Emissão do Laser
Fonte: SHEN (2012)

As orientações dos três eixos do TBM no espaço subterrâneo são fundamentais para o controle da direção da máquina. Acoplado com o sistema a laser, um eixo com dois

níveis de bolha é instalado no TBM para avaliar o ângulo de rotação no sentido vertical, como na figura 6.15.



Figura 6.15 – Placa do Alvo do Laser
Fonte: SHEN (2012)

Uma das principais limitações associadas com o tradicional sistema de orientação a laser está na baixa precisão e confiabilidade, devido principalmente a três fatores:

1. Os potenciais erros manuais em inicializar ou calibrar o alinhamento do feixe de laser;
2. Dispersão e refração do feixe de laser a uma grande distância;
3. Dificuldade para receber projeções do laser por causa dos excessivos desvios do TBM.

A distância máxima do sistema do laser é de cerca de 20 metros. Além disso, o feixe do alinhamento deve ser frequentemente calibrado por especialista, pelo menos uma vez a cada dois dias. Assim, a produtividade pode ser acompanhada pela equipe de manutenção. A fim de facilitar o controle de alinhamento do túnel, empresas comerciais desenvolveram sistema de orientação do TBM avançada por meio da integração mecânica, óptica e eletromagnética. Restrições de espaço e condições de trabalho adversos no túnel pode não satisfazer os requisitos de instalação do sistema. Contudo, a alta complexidade do sistema pode comprometer a confiabilidade do resultado enquanto aumenta consideravelmente o preço do sistema.

6.4.2 Sistema de Posicionamento de Automação do TBM

A solução do posicionamento do TBM propõe a combinação de quatro funções:

1. Automação de rastreamento através do TBM com levantamento computacional de integração;
2. Comunicação dos dados por wireless com redes sensores;
3. Programa com alvos a laser virtual para orientação do TBM;
4. Visualização em tempo real de construção do túnel em ambiente tridimensional.

6.4.3 Automação do Rastreamento do TBM

O sistema emprega uma estação total robótica para controlar o processo contínuo de acompanhamento automatizado do TBM e recolhe os dados espaciais no interior do túnel, como ilustrado na figura 6.16 com coordenadas do TBM bem como a sua linha e grau de desvio do túnel em tempo real. Esse sistema permite calcular a orientação dos três eixos do TBM sem a necessidade de usar outros instrumentos.

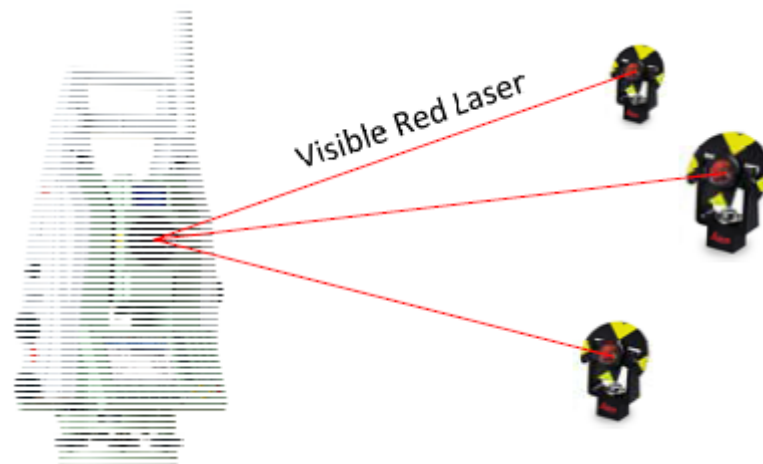


Figura 6.16 – Rastreamento do Laser
Fonte: SHEN (2012)

6.4.4 Comunicação dos Dados sem fio

As redes de sensores sem fio são implantadas no sistema, permitindo a comunicação dos dados no local para rastreamento do TBM, onde a estação total robótica torna-se um controle portátil que está no subterrâneo, conjuntamente com um computador monitorando na superfície. Assim as redes de sensores proporcionam uma inteligente, rentável e infraestrutura de rede eficiente que podem se comunicar com outros laptops, como mostrado na figura 6.17. Os resultados de levantamento em tempo real são transmitidos para o computador, enquanto que o controle remoto de comando é enviado para a estação total através do mesmo canal de comunicação de dados sem fios.

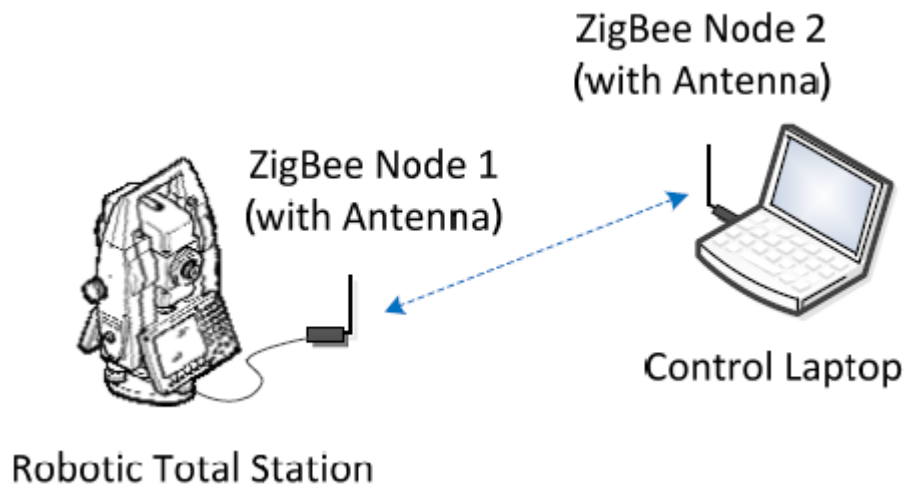


Figura 6.17 – Transferência de Dados
Fonte: SHEN (2012)

6.4.5 Visualização 3D de Construção do Túnel

A plataforma 3D de fácil utilização é fornecida no sistema a fim de visualizar os resultados analíticos que descrevem em tempo real a posição do TBM, o projeto do túnel e o andamento das obras. Ele auxilia os gerentes de projeto na tomada de decisões críticas. O projeto do túnel e do processo de tunelamento são visualizados em três passos:

1. Antes da fase de construção os dados ambientais, como a topografia do solo, informações dos estratos, parâmetros geotécnicos e o alinhamento do túnel como concebido no projeto são modelados no sistema;
2. Durante a fase de construção, o sistema lê o TBM em tempo real, e levanta os dados de posicionamento para controle tecnológico. A diferença entre o alinhamento como concebido em projeto e do as-build podem facilmente serem vistos em imagem tridimensional, possibilitando o monitoramento do subsolo;
3. Após a fase de construção, o controle de alinhamento do túnel projetado e do as-build pode ser revisto.

Na figura 6.18 mostra um projeto do túnel simulado. O progresso da construção do túnel é apresentado no espaço subterrâneo complicado, em que as diferentes cores de seções do túnel do *as-build* indica a qualidade do alinhamento do túnel, sendo verde – dentro da tolerância, vermelho – fora da tolerância.

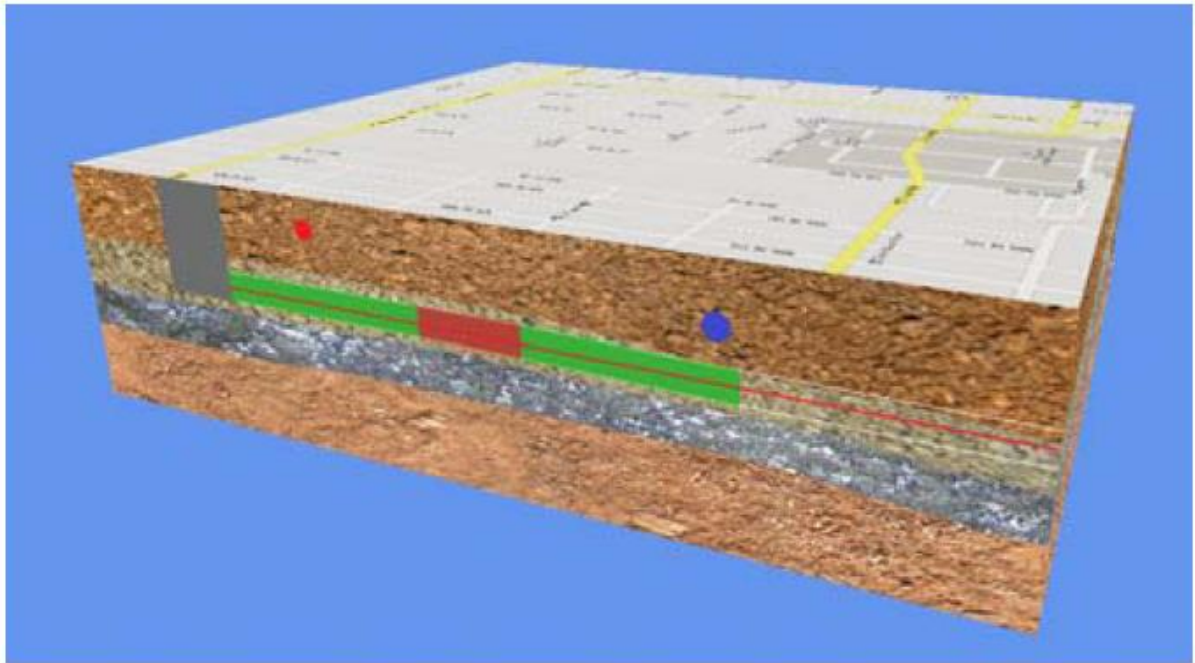


Figura 6.18 – Visualização Tridimensional
Fonte: SHEN (2012)

6.4.6 Comentário

A demanda crescente pelo desenvolvimento da infraestrutura de transportes, estimula a construção de túneis em todo do mundo, dentro do qual o método Tunnel Boring Machines (TBM) é o mais aplicado. A falta de soluções na orientação TBM contribui potencialmente ao aumento dos riscos e incertezas em construção de túnel. Nesta pesquisa foi apresentado solução para o posicionamento TBM, que integra a automação, mecanismos de controle e tecnologias de rede sem fio. No entanto, as múltiplas interfaces oferecem condições de apoio para a decisão dos operadores da TBM, como topógrafos na frente do túnel, aos gerentes de projeto para acompanhar o andamento das obras, bem como visualizar qualquer tipo de desvios de alinhamento do túnel. O estudo abarca o posicionamento com apoio da estação total robótica, resulta desempenho de 11,2% maior, contra o sistema tradicional laser, somados ao controle tecnológico em tempo real para possíveis necessidade de tomadas de decisão.

6.5 Estação Total

Estação total ou taqueômetro é um instrumento eletrônico utilizado na medida de ângulos e distâncias. A evolução dos instrumentos de medida de ângulos e distâncias trouxe como consequência o surgimento deste novo instrumento, que pode ser definido como a junção do teodolito eletrônico digital com o distanciômetro eletrônico, montados num bloco, como na figura 6.19.



Figura 6.19 – Estação Total
Fonte: Leica Geosystems (2015)

Segundo McCormac (2007), as estações totais são idealmente adequadas para levantamento de poligonais, visto que o trabalho pode ser rápido e eficientemente realizado. Distancias e direções podem ser rapidamente medidas para inúmeros pontos a partir de cada estação do instrumento. Além do mais, os componentes horizontais e verticais dessas distâncias e as cotas e coordenadas dos pontos sinalizados são calculadas instantaneamente e armazenadas no microprocessador do instrumento. A estação total é instalada em vértices sucessivos da poligonal e ao longo dela. Em cada vértice o instrumento é orientado realizando uma visada de ré para um ponto conhecido, ajustando o azimuth dessa linha para o valor conhecido juntamente com as coordenadas dessa posição. Então as leituras (direções e distâncias) são tomadas para o vértice seguinte.

6.5.1 Comentário

A irradiação é também muito conveniente para locação de projetos de construção. As coordenadas de vários pontos a serem estaqueados são determinadas nos desenhos do projeto. Então, os ângulos e as distâncias para aqueles pontos são calculados a partir de um conjunto de pontos de instalação da estação total. Os pontos do projeto são locados com a estação total.

A estação total é um instrumento muito usado na implantação de redes de referência e na locação de vários tipos de obras, inclusive obras metroviárias.

Como é praticado no mercado, a instrumentação conta como apoio dos equipamentos topográficos para a leitura de verificação, visando pontos notáveis para controle tecnológico. Como exemplo, para o controle de recalque de túneis e edificações lindeiras utiliza-se pinos de convergência, marco refletor, medidores de deslocamento e placas de recalque onde as leituras são feitas com o auxílio da estação total e do instrumento de nível tipo N1 ou N2. A estação total é muito utilizada pelo fato dos profissionais já dominarem o manuseio, porém, possui menor precisão de leitura comparada ao medidor de nível.

7 CONCLUSÃO

A experiência da Companhia do Metropolitano de São Paulo em obras subterrâneas vem de longa data, qualificando seu corpo técnico com a utilização de tecnologias e metodologias de ponta.

Como observa o engenheiro Luiz Eduardo Espindola da Linha Amarela do Metrô-SP, a CMSP subdivide as áreas de atuação onde a fiscalização e execução fica sob a responsabilidade do consórcio vencedor. A implantação da poligonal é realizada pelo pessoal do Metrô, assim como a implantação do projeto, levantamento cadastral, desapropriação e controle tecnológico. O serviço de instrumentação é terceirizado, cabendo a contratada adotar métodos e processos de forma a satisfazer as exigências normativas do Metrô.

Conforme Rocco (2013), a estação total é o principal equipamento topográfico utilizado em obras subterrâneas no Brasil, por ser um equipamento que não tem custo elevado, precisão angular e linear adequada, pequeno peso e facilidade de transporte, além da rapidez nas leituras e aplicativos que facilitam os trabalhos de campo. A principal dificuldade é controlar a direção do eixo do túnel estabelecida nos projetos, pois o desenvolvimento da poligonal depende da posição transferida da superfície.

Como destaca o engenheiro Paulo Paiva da GeoHydroTech Engenharia, os principais equipamentos para controle tecnológico e da instrumentação em obras voltadas a barragens, tanto para aproveitamento hidráulico como de rejeito, é a estação total e o nível. Desde a implantação do projeto, locação dos *off-sets* de terraplenagem e para o controle de execução.

Cláudio Dias, Engenheiro de Túneis na *CH2M Hill UK*, informa que em Londres é aplicado métodos inovadores principalmente associados à construção do *Crossrail*, um dos maiores projetos de infraestrutura ferroviária e metroviária da Europa. O método usado é o mapeamento por laser 3D que permite a criação de um modelo *as-built* 3D. Toda a informação do projeto é colocada num modelo integrado 3D, de acordo com o *Building Information Modelling (BIM)*, e atualizada ao longo da construção. Desta forma é possível ter uma melhor otimização e gerenciamento durante a construção e depois para efeitos de manutenção e gerenciamento da fase de operação e também um cadastro de interferências para escavações futuras nas proximidades da obra.

Em obras prediais, obras urbanas de infraestrutura, construção de barragens, exploração de mineração, obras subterrâneas, como tantas outras, utiliza-se de recursos, conhecimentos e métodos topográficos para a produção do projeto, implantação das estruturas, locação e controle da execução desde a fundação até a última fase da construção. Os equipamentos mais usados no mercado são a estação total e o nível considerando a relação do custo e benefício ser alto. Equipamento como a estação total robótica é mais empregada em mineradoras, usinas hidrelétricas e túneis pelo fato de possuir recursos de controle quase instantâneos, favorecendo a tomada de decisão. Esses tipos de obras comportam esses equipamentos que são de custo muito alto mas proporcionam grande otimização do trabalho. Os níveis a laser são utilizados em implantação de dutos de hidráulica e gasodutos, obras de drenagem e de transporte de fluidos no geral.

Salientou-se no trabalho a importância do controle tecnológico em obras metroviárias devido ao grande porte e os grandes riscos envolvidos na execução em região urbanizada e populosa. Esse controle de informações preventivas e mitigadoras para eventual tomada de decisão reduzindo os efeitos reverberados pela escavação, controlando as possíveis patologias dentro da zona de influência da obra.

Ainda que nas obras são empregados equipamentos e instrumentos topográficos modernos e de qualidade, existe um fator preponderante na efetivação do controle tecnológico, o profissional. No caso do topógrafo, necessita ser constantemente atualizado e qualificado para que a precisão e exatidão de suas medições estejam dentro das exigências normatizadas, reduzindo os erros acidentais e principalmente os grosseiros.

Por fim, conclui-se que a importância dos recursos topográficos em obras metroviárias, como também em todos os tipos de obras, são imprescindíveis em todas as fases da implantação até a conclusão do as-build. A ausência do topógrafo na obra significa grande perigo, em outras palavras, uma irresponsabilidade social.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação: referências – elaboração**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 14166: Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 15309: Locação Topográfica e Acompanhamento dimensional de obra Metroviária e Assemelhada - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2005.

BORGES, A. C.. **Topografia**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

CELESTINO, T. B. *et al.* **A Influência Recíproca Observada na Implantação de Dois Túneis Vizinhos Escavados pelo NATM**. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA – ABGE, 5, 1987, São Paulo. SP. p. 45-55.

COELHO, W.; SILVA, A. P. da. **"AS-BUILT"- Túneis - Acompanhamento das Obras do Metro de São Paulo**. 6º CONEA, Salvador 1996. 12 p.

CORRÊA, Iran C. S. **Apostila de Topografia Aplicada à Engenharia Civil**. Rio Grande do Sul: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2010. 137 p.

DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **IP-DE-C00/002: Instrução de Projeto**. São Paulo, 1994.

FONTOURA, S.A.B. & BARBOSA, M.C. **Recalques Superficiais Causados pela Escavação de Túneis em Solos**. In: SIMPÓSIO SOBRE ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS, 4., 1982, Rio de Janeiro. **Anais Rio de Janeiro R.J.**, 1982. p. 587-623.

GIANNOTTI, Waldir J. **Instrumentação de Túneis Urbanos**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2003. 112 p.

_____. **Topografia no Metrô de São Paulo**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2000. 51 p.

LEICA, Geosystems. **Catálogo de Nível Digital**. TQM. Suíça, 2006. Disponível em: <
http://www.leica-geosystems.com.br/downloads123/zz/levels/dna/brochures/DNA_Brochure_us.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2015.

MCCORMAC, J. C. **Topografia**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

METRÔ DE SÃO PAULO, Cia. **Coleção de fórmulas geométricas**. Trabalho MD 400-C/012. Consórcio Metrô - HMD 1.ed. São Paulo: Metrô SP/SST/CST, 1970. 64 p.

MOREIRA, Décio; SIQUEIRA, Rosana M.; MENEGETTI, Leila; GROSSMANN, Maurício G. M. **Topografia**. São Paulo: Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2008. 74 p. (Apostila da Disciplina Topografia – Departamento de Transportes e Obras Terrestres – Curso Movimento de Terra e Pavimentação – Faculdade de Tecnologia de São Paulo).

MURAKAMI, C. L. **Noções Básicas para o Acompanhamento Técnico de Obras de Túneis**. 2001. 236 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PARZZANINI, Pedro D. **Laser Scanner – Novos Mercados e Oportunidade para os Profissionais e Empresas de Levantamento de Campo**. CP Tecnologia. Minas gerais, 25 p. 20 de jun. 2013. Disponível em < <http://www.cpetecnologia.com.br/novo/topografia/laser-scanner> >. Acesso em: 12 jan. 2015.

ROCCO, J. **Metodologia para o Posicionamento de Poligonais em Obras Metroviárias**. 2013 Dissertação (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ROCHA, Antônio C. P. **Aplicações do Scanner a Laser I-SiTE para Levantamentos Topográficos**. REM – Revista Escola de Minas. Minas gerais, vol. 55 n.4, 04 de nov. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S037044672002000400013&script=sci_arttext>. Acesso em: 13 jan. 2015.

ROCHA, J. A. da. **Topografia de Instalação do Sistema da Via Permanente do Metrô de São Paulo – Apoio Planimétrico para Locação da Via Permanente**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 7.,1996, Salvador. BA. p. 348-350.

SÃO PAULO. Companhia do Metrô de São Paulo – METRÔ. **Especificação de Serviços para Instrumentação Geotécnica de Obras**. ES-9.00.00.00/5I7- 001 – Rev 0, 1992, 21 p.

SÃO PAULO. Companhia do Metrô de São Paulo – METRÔ. **Especificação Técnicas de Serviços Topográficos**. ET-4.00.00.00/3C2-001 – Rev 0, 13/10/1998, 5 p.

SÃO PAULO. Companhia do Metrô de São Paulo – METRÔ. **Normas Técnicas Complementares NC-03/80**. 1980, p. III.20-III52, p. IV.16-IV.68

SÃO PAULO. Companhia do Metrô de São Paulo-METRÔ. **SACI-Sistema para Acompanhamento e Controle de Instrumentação**: Manual do Usuário, Documento interno da Cia do Metrô de São Paulo, 1988, 106 p.

SHEN, X.S.; LU, M., FERNANDO; S.,ABOURIZK, S.M.; **“Tunnel Boring Machine Positioning Automation in Tunnel Construction”**, Canada: Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, 2012. 6 p.

SILVA, R.E. da.; **Topografia De Instalação Do Sistema Da Via Permanente Do Metrô De São Paulo – Locação Topográfica do Eixo Das Vias e Amv's em Túnel, Elevado e Lastro**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 7.,1996, Salvador. BA. p. 345-347.

ZANELATO, Elieser A. **Escavação de Túneis – Métodos Construtivos**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2003. 57 p.