

# CONTROLE DA ESTABILIDADE DAS RRNN (PADRÃO IBGE) UTILIZANDO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

De FREITAS, S. R. C.; FAGGION, P. L.; MEDEIROS, Z. F.

Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas,

Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésicas

Fone (041) 366-2323 Ramal 3107, Fax (041) 266-2393, Caixa Postal 19011 CEP: 81.531-900 - Curitiba - Pr  
pedrof@geoc.ufpr.br; zmedeiro@geoc.ufpr.br; sfreitas@cce.ufpr.br

## RESUMO

A partir do nivelamento geométrico de primeira ordem o Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica da UFPR (LAIG) vem estudando o comportamento da estabilidade dos marcos (RRNN), na rede científica implantada na UFPR desde o segundo semestre de 1995. Este estudo é justificado em vista nas altas precisões requeridas das redes fundamentais de nivelamento.

A rede científica para teste da UFPR abrange uma extensão de 7.3 km, localizando linhas em diferentes condições (declives leves e acentuados e variadas extensões de linhas); ela possui um ponto pertencente à rede do IBGE (com altitude conhecida), possui ainda três tipos de marcos: a) oito marcos padrão IBGE para pontos altimétricos de alta precisão; b) oito marcos modificados a partir do padrão IBGE, incluindo ferro armado na estrutura e aumento da área de apoio da fundação, implantados no início do projeto; c) oito marcos experimentais de menor estabilidade, como os usualmente empregados nas redes secundárias.

## ABSTRACT

Based on a first order spirit leveling, the Geodetic Instrumentation Laboratory (LAIG) has been studying the behavior of bench marks stability in a scientific network place at UFPR during the second semester of 1995. This study is justified due to the present high precision requirements of fundamental leveling networks.

The experimental network of UFPR comprehends a 7.3 km line located at different conditions (strong and soft drops with different length of the lines). It includes a bench mark linked to IBGE fundamental network, with know height and three different kinds of bench marks; a) eight with IBGE pattern for altimetric points of high precision; b) eight with modified pattern, which is based on IBGE, but including an iron structure into the body of the mark and with a larger area of foundation, constructed at the beginning of the project; c) eight experimental bench marks with less stability, usually used in secondary networks.

## 1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica da UFPR – LAIG vem discutindo a metodologia empregada nos levantamentos altimétricos de precisão, tendo em vista a precisão atualmente possível de ser atingida.

Os níveis ópticos de precisão podem estar sujeitos à limitações quanto a sua capacidade de utilização, quando não retificados; o mesmo acontece quando utilizam-se miras verticais de invar não aferidas. Porém, quando: a) os instrumentos são aferidos e retificados e, b) a metodologia dos levantamentos considera um melhor controle das variáveis físicas que influenciam no nivelamento, é possível atingir a plena capacidade instrumental.

Para o item (a) o LAIG desenvolveu um sistema de aferição de miras com capacidade nominal de até  $\pm 0,001$  mm (FAGGION, 1993), sistema de retificação de níveis ópticos com colimadores e rede científica de nivelamento. No que diz respeito à metodologia (b) devem ser estudados controles dos parâmetros meteorológicos, técnicas de visadas, horários de levantamentos, aspectos geodinâmicos e a estabilidade dos marcos (RRNN).

Com o intuito de verificar estes aspectos, passou-se a realizar experimentos de campo na rede científica objetivando o estudo de procedimentos de campo que conduzam a uma melhoria qualitativa nos trabalhos associados à Rede Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

No presente trabalho descrevemos os principais procedimentos adotados na implantação da rede científica de nivelamento, até experimentos metodológicos.

## **2. MONUMENTAÇÃO DA REDE CIENTÍFICA**

A implantação da rede científica para teste no Centro Politécnico (CP) da UFPR foi no segundo semestre de 1995 (fig.-1). Ela possui uma extensão de aproximadamente 7,3 km, contendo 24 pontos, dos quais: a) oito são marcos padrão IBGE para pontos altimétricos de alta precisão (já existentes no CP), b) oito marcos modificados a partir do padrão IBGE, c) oito marcos experimentais de menor estabilidade, como os usualmente empregados nas redes secundárias, d) uma RN pertencente à rede altimétrica brasileira de primeira ordem (com altitude conhecida). Os oito marcos modificados implantados em 1995 foram localizados de forma à abrangerem todo o CP, bem como localizar linhas em diferentes condições (declives leves e acentuados e linhas de diferentes comprimentos). Os circuitos tem extensão média de 600m.

### **2.1. CONSTRUÇÃO DAS RRNN**

As RRNN foram construídas com base nas NORMAS BRASILEIRAS (IBGE,1996) tiveram como base as normas do IBGE, para pontos altimétricos de alta precisão, sendo introduzidas algumas modificações, tais como: estrutura armada e aumento na área de apoio da fundação.

É importante salientar que as mesmas foram confeccionadas numa única peça.

## **3. REDE CIENTÍFICA**

### **3.1. EQUIPAMENTO E MATERIAL**

Utilizou-se o nível N3-Wild (com placa plano-paralela), dois pares de miras verticais de invar, duas sapatas, quatro balizas de ferro, um tripé, uma guarda-sol de algodão, uma prancheta, cadernetas de campo, calculadora portátil, computadores Palm-top e Desktop, softwares Turbo Pascal, Fortran, Draw-Perfect Quatro-Pró e MATLAB, além de programas de ajustamento de redes de nivelamento pelo método das equações de condição (Método dos Correlatos).

### **3.2. RECURSOS HUMANOS**

A equipe de campo foi composta de: um nivelador, dois porta miras e um anotador, todos

bolsistas de graduação. Para atingir a precisão requerida para a rede (muito acima da praticada na rede vertical do SGB), foi necessário um treinamento médio de 06 meses para cada nivelador utilizado em cada período de nivelamento.

### **3.3. PROCEDIMENTOS**

Antes do nivelamento alguns cuidados foram tomados tais como: a) utilização de todo o equipamento de mesma marca (nível, miras e sapatas); b) retificação e aferição em laboratório do nível (verticalidade do eixo principal e paralelismo entre o eixo de colimação e o eixo do nível tubular) e aferição do par de miras (precisão na escala gravada na fita de invar e verticalização do nível esférico). O par de miras escolhido, dentre doze pares aferidos pertencentes ao IBGE, foi aquele que apresentou os menores desvios constatados na aferição em laboratório.

Realizaram-se dois nivelamentos em períodos diferentes, a saber: 1995 e 1996/97; em cada um deles foi utilizado um nivelador diferente, devido à troca de bolsistas no LAIG.

No nivelamento utilizou-se o método das visadas iguais, onde a diferença no comprimento das visadas de ré e vante nunca foi superior a 1,5m (IBGE, 1983). As visadas não ultrapassaram a 35 m de comprimento, apesar do IBGE sugerir que as visadas não sejam superiores à 100m, sendo o ideal de 60m (IBGE,1983). As leituras nas miras sempre foram superiores à 30 cm e inferiores a 270 cm (eliminação grande parte do efeito da reverberação junto ao solo e movimentos da mira pelo vento (IBGE,1983). As miras foram utilizadas aos pares e alternadas, sempre com número par de visadas, eliminando-se o erro de índice.

O guarda-sol de algodão serviu para minimizar os efeitos da insolação direta no nível óptico. O intervalo da constante da mira foi reduzido de 301.530 a 301.570 para 301,540 a 301,560.

Em cada seção a diferença entre o nivelamento e contra-nivelamento foi mantida abaixo de  $1 \text{ mm } \sqrt{K}$  (K distância em quilômetros) conforme as redes mais modernas (ROBINSON et al., 1995), porém em cerca de 50% da rede este valor manteve-se abaixo de  $0,5 \text{ mm } \sqrt{K}$ . Devemos lembrar que a norma brasileira (IBGE,1983) preconiza para nivelamento de primeira ordem  $3 \text{ mm } \sqrt{K}$ .

O nivelador, em cada período, foi sempre o mesmo em todo o nivelamento, de tal forma a serem evitados erros introduzidos por diferentes equações pessoais de observação.

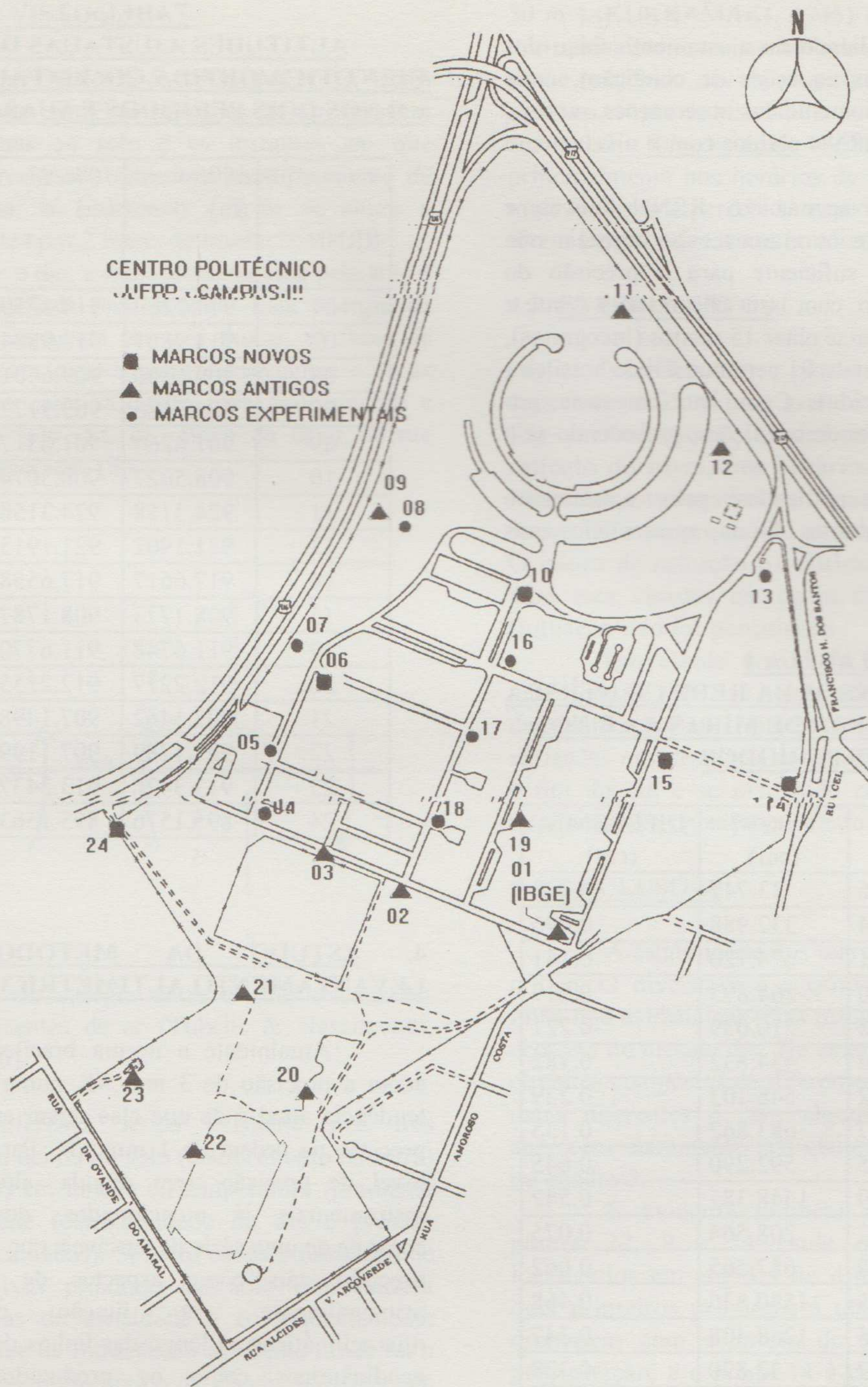


Figura 1 - Rede Científica no Centro Politécnico - UFPR

#### 4. AJUSTAMENTO

O método utilizado no ajustamento foi o dos correlatos (método das equações de condição), onde tem-se o ajustamento somente das observações, ou seja, os desníveis entre as RRNN obtidos com o nivelamento geométrico.

Utilizando-se apenas 16 RRNN (novas e antigos), uma vez que os marcos experimentais não apresentaram rigidez suficiente para a precisão do levantamento realizado, com isso chegou-se a vinte e cinco desníveis e deseja-se obter 15 pontos (incógnitas), tendo em vista que o ponto 01 pertence à rede brasileira (com altitude conhecida). Com isto obteve-se um sistema de dez equações de condições, procedendo-se o ajustamento.

Os cálculos realizados pelo ajustamento conduziram aos resultados finais apresentados nas tabelas 1 e 2

**TABELA 1**  
**DESNÍVEIS AJUSTADOS DA REDE CIENTÍFICA**  
**OBTIDA COM O PAR DE MÍRAS A e B NOS**  
**DOIS PERÍODOS**

LINHAS	1995 (cm)	1996/97 (cm)	DIFERENÇA (cm)
01-02	33.976	33.747	0.229
01-14	333.584	332.988	0.696
01-15	614.861	614.720	0.141
01-19	265.110	264.893	0.217
01-20	209.818	210.039	-0.221
02-03	435.014	434.832	0.182
02-10	548.342	548.103	0.239
02-21	683.997	683.862	0.135
03-06	592.335	592.290	0.045
03-24	1447.839	1448.381	-0.542
06-09	208.622	208.564	0.075
09-10	687.628	687.565	0.062
10-11	1581.305	1580.836	0.468
10-12	1268.755	1268.408	0.347
10-15	32.542	32.870	-0.328
11-12	312.551	312.429	0.122
12-14	352.852	353.569	-0.717
14-15	948.445	947.708	0.737
15-19	349.751	349.827	-0.076
20-21	508.155	507.570	0.586
20-22	509.885	510.563	-0.679
21-22	1.729	2.994	-1.264
21-23	619.661	619.393	0.268
21-24	1198.856	1199.351	-0.495
22-23	621.389	622.386	-0.997

**TABELA-2**  
**ALTITUDES AJUSTADAS DA REDE**  
**CIENTÍFICA OBTIDA COM O PAR DE MÍRAS A**  
**e B NOS DOIS PERÍODOS E SUAS DIFERENÇAS**

RRNN	1995 (m)	1996/97 (m)	Diferença entre períodos (mm)
01	914.3269	914.3259	0.0
02	913.9861	913.9884	2.3
03	909.6360	909.6401	4.1
06	903.7126	903.7172	4.6
09	901.6264	901.6317	5.3
10	908.5027	908.5074	4.7
11	924.3158	924.3158	0.0
12	921.1902	921.1915	1.2
14	917.6617	917.6558	-5.9
15	908.1773	908.1787	1.4
19	911.6748	911.6770	2.2
20	912.2277	912.2255	-2.2
21	907.1462	907.1498	3.6
22	907.1289	907.1199	-9.0
23	913.3428	913.3437	0.9
24	895.1576	895.1563	-1.3

#### 4. ESTUDO DA METODOLOGIA DO LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO

Atualmente a norma brasileira (IBGE,1983) adota a precisão de  $3 \text{ mm } \sqrt{K}$  numa seção, porém a tendência atual é de que elas sejam estabelecidas com precisão na ordem de  $1 \text{ mm } \sqrt{K}$ . Para a mudança do nível de precisão, sem dúvida, além dos aspectos instrumentais já mencionados, deve-se prever o controle de uma série de variáveis que podem influir na precisão, tais como aspectos de natureza física, principalmente em função das condições microclimáticas ao longo das linhas de visadas, efeitos geodinâmicos como os produzidos pelas marés terrestres, instabilidades do solo, apoios intermediários e marcos monumentados e outros efeitos físicos de menor importância como os efeitos magnéticos da Terra.

Sabe-se da impossibilidade do controle de todas as variáveis. Busca-se então a redução dos seus efeitos, a um nível inferior ao da resolução do instrumento. Por exemplo, quando efetua-se o nivelamento e contra-nivelamento e a equidistância das visadas, minimiza-se parte dos efeitos de perturbações externas.

#### 4.1. EFEITO MICROCLIMÁTICOS AO LONGO DA LINHA DE VISADA

Segundo (TUBELIS & NASCIMENTO, 1986) as trocas de calor entre as camadas de ar ocorrem primeiro próximas ao solo e os instantes em que ocorrem estas trocas são retardadas continuamente de baixo para cima, só ocorrendo a 2 m de altura a aproximadamente após 2 horas de insolação

Durante o dia, a radiação absorvida pelo solo é maior que a irradiada pelo mesmo. Esta energia de insolação (Q) é repartida em três fluxos: a) fluxo de calor utilizado para aquecimento e resfriamento do ar (A), b) fluxo de calor utilizado para aquecimento e resfriamento do solo (S), c) fluxo de calor latente absorvido na evaporação (E).

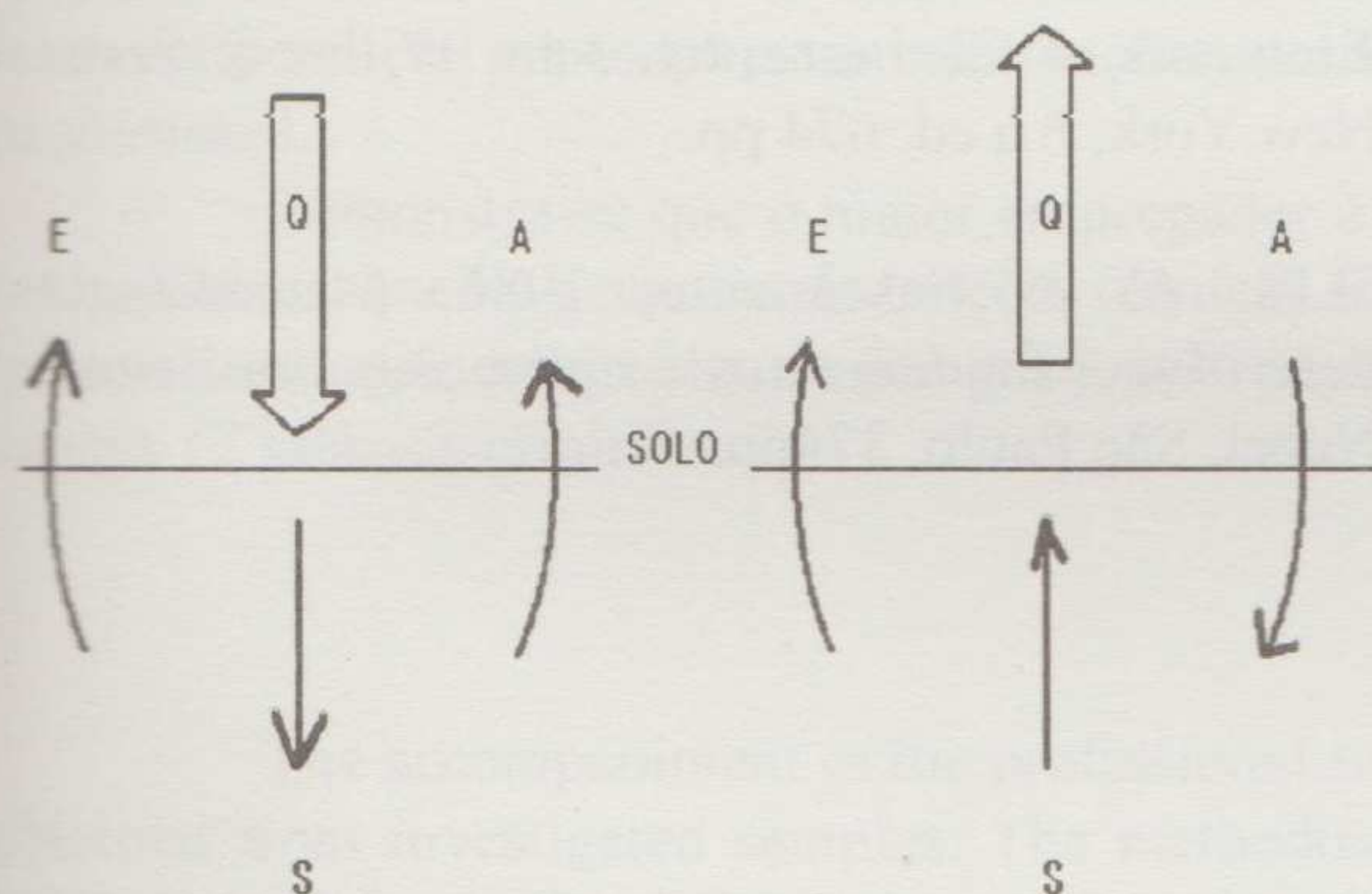


Fig. 2 - Fluxo de energia entre o solo e camadas adjacentes de ar (Tubelis & Nascimento, 1986)

Esta diferença física existente nos três primeiros metros acima do solo (comprimento da mira) são significativas em função da temperatura (gradiente térmico), umidade (condutividade do ar) e pressão (densidade das camadas). Surgem então a formação de células convectivas próximas ao solo que causam mudanças súbitas de densidade e conseqüentemente variação no índice de refração do ar. Deste modo há a perturbação no caminho óptico da visada, que depende do horário do levantamento, desnível observado, condições climáticas da região e principalmente do comprimento das visadas.

A partir destas condições ambientais, tem-se três efeitos distintos, em diferentes períodos:

1 - Refração Nivelítica: curvatura do caminho óptico por refração, função do gradiente térmico (mínimo ao meio dia) e do desnível entre os pontos extremos das visadas, os seus efeitos só é detectado quando da realização dos cálculos;

2 - Flutuação: é a variação cíclica da temperatura nas camadas próximas ao solo, devido composição de convecção com irradiação. O efeito surge com a flutuação do traço de leitura da mira com

amplitudes grandes (maiores de 1 mm para visadas de 50 m) (KUKKAMAKI, 1945) com períodos de até 5 min, principalmente no amanhecer. Por vezes o efeito não é percebido devido ao pequeno período de tempo gasto na leitura da visada.

3 - Reverberação: oscilações de curto período, principalmente nos horários de maior insolação, ela é mais facilmente percebida quando as visadas nas miras forem longas e feitas nas imediações do solo.

#### 4.2. EXPERIMENTOS

Verificou-se quando das tentativas superiores a 35 m uma grande oscilação do traço da fita em relação ao posicionamento da cunha do retículo do nível, nos horários de maior insolação. Nos dias ensolarados as visadas entre 30 e 35 m foram difíceis o que não ocorreu em dias nublados. O efeito de refração nivelítica não foi significativo para esta visadas em torno de 35 m. O efeito de flutuação não foi pesquisado.

Um estudo prévio da refração nivelítica em uma linha de rede tem nos levado a analisar os horários de realização do nivelamento, onde as maiores variações nos desníveis calculados ocorreram ao início e fim do dia e se mantendo constante ao meio dia, totalmente em oposição ao efeito de reverberação.

#### 5. CONCLUSÕES

A estabilidade dos marcos é ainda um aspecto crítico. O nivelamento e contra-nivelamento de uma linha não evidenciam estas instabilidades, uma vez que ocorrem no mesmo dia. No entanto, no fechamento dos circuitos compostos de diferentes linhas, realizadas em datas diferentes e com alguns marcos em comum aparecem claramente tais efeitos, como pode ser visto no quadro 3.

É evidente também a movimentação dos pontos 22, 9 e 14 (vide quadro 2) que estão localizados em regiões de diferentes condições. Os dois primeiros próximos à uma área de sistema de drenagem com acúmulo de água em períodos de precipitação, e o ponto 14 à cerca de 3 m de rua de trânsito pesado.

QUADRO 3  
ERRO DE FECHAMENTO POR CIRCUITO DAS  
MIRAS A e B (cm)

CIRC	95	96/97	CIRC	95	96/97
1	-0.056	-0.022	6	-0.149	0.064
2	0.016	-0.008	7	-0.302	-0.078
3	0.022	-0.822	8	0.011	-0.062
4	0.038	0.080	9	0.855	0.022
5	-0.146	-0.104	10	0.051	-0.108

O gráfico 1 ilustra bem a movimentação dos marcos entre os dois períodos.

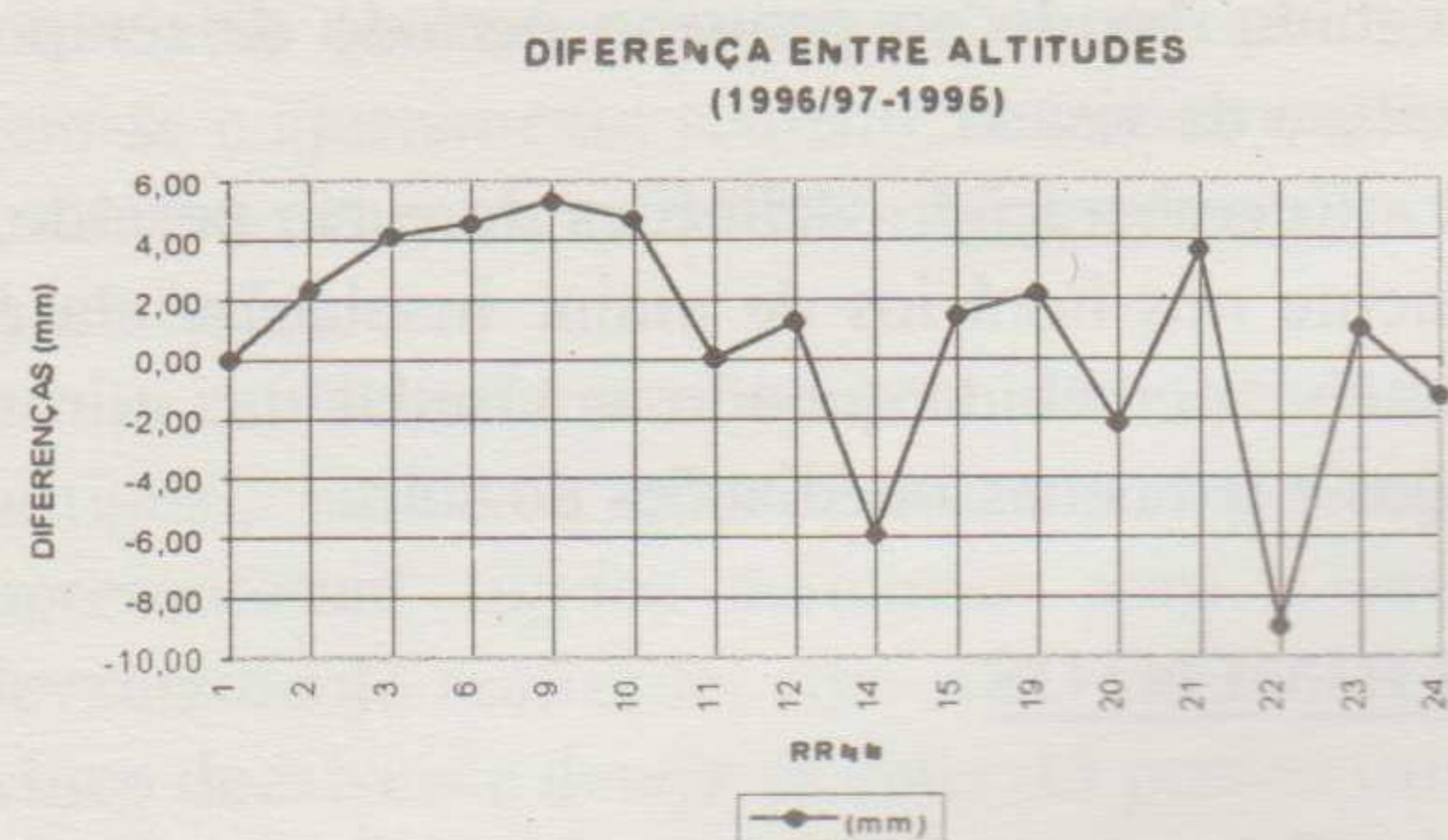


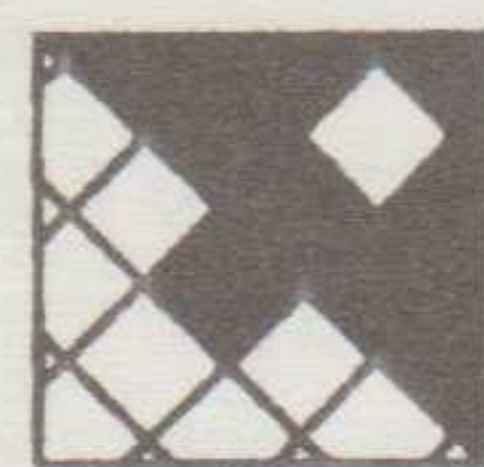
Gráfico 1 - Diferença entre nivelamentos em mm

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro, com o qual foi possível desenvolver o projeto nº 5223227/94-0. E também a todas as pessoas que participaram para o desenvolvimento e conclusão do mesmo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FAGGION, P. L., 1993. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR, Curitiba, 133 pp.
- IBGE, Resolução - Pr n°22. Boletim de serviço, Rio de Janeiro RJ, 1983.
- IBGE, Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos (coletânea das normas vigentes). nsdg nº 29/88. Rio de Janeiro RJ, 1996.
- KUKKAMAKI, T. J., 1945. La refraction nivelítica. Tradução, Direccion General del Instituto Geográfico Militar (folleto n° 4), Argentina, 60 pp.
- ROBINSON, A. H.; MORRISON, J. L.; NUEHRCKE, P.C.; KIMERLING, A. J.; GUPTIL, S. C. 1995. Elements of Cartography. John Willev & Sons, New York, 6 a ed. 674 pp.
- TUBELIS, A. & Nascimento, 1986. Meteorologia descritiva - fundamentos e aplicações brasileiras. Nobel, São Paulo, 374pp.



**FUNCATE**

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

Av. Dr. João Guilhermino, 429 - 11º Andar - Tel.: (012) 341-1399 - Fax: (012) 341-2829  
Edifício Saint James - CEP 12.210-131 - São José dos Campos - Estado de São Paulo

Sisgraph Ltda

Rua Estados Unidos, 112/116

01427 000 São Paulo SP Brasil

Tel (011) 889.2000 Fax (011) 887 7763

www.intergraph.com/brazil