

Geração de Redes Planimétricas Urbanas Utilizando Ajustamento em Rede com Injunções de Coordenadas

¹ **Roberto da Silva Ruy**

Bolsista FAPESP - Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica

² **Prof. Dr. Antonio Maria Garcia Tommaselli**
Professor Doutor - Departamento de Cartografia

³ **Prof. Dr. Paulo de Oliveira Camargo**
Professor Doutor - Departamento de Cartografia

FCT / UNESP - Departameto de Cartografia
Rua Roberto Simonsen, 305 - CP 467
19060-900 Presidente Prudente SP

¹ ✉ r_ruy@bol.com.br

² ✉ tomaseli@prudente.unesp.br

³ ✉ paulo@prudente.unesp.br

Conteúdo	
	1 Introdução
	2 Revisão Bibliográfica
	2.1 Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano
	2.2 Base Cartográfica
	2.3 Posicionamento Planimétrico
	2.4 Medições de Distâncias
	2.5 GPS
	2.6 Ajustamento das Observações
	2.7 Sistema CAD
	3 Metodologia
	4 Experimentos
	5 Conclusão
	6 Referências Bibliográficas

Resumo: Um dos maiores problemas das administrações municipais é o estabelecimento e manutenção de bases cartográficas da malha urbana. Uma alternativa seria o Aerolevantamento, mas esta técnica é inacessível para pequenas prefeituras. Por outro lado, freqüentemente são feitos levantamentos a trena das testadas dos imóveis. O princípio da abordagem proposta é o refinamento de coordenadas planimétricas de uma planta base através da introdução de medidas lineares entre os pontos com coordenadas aproximadas conhecidas. As coordenadas aproximadas são introduzidas como injunções relativas e permitem a manutenção da orientação da rede. Este método de ajustamento foi implementado em linguagem C e alguns testes práticos foram conduzidos. Uma planta urbana na escala 1:10.000 foi digitalizada e várias distâncias entre os vértices das quadras foram medidas diretamente no campo, com uso de trena. A rede foi ajustada e os resultados permitem afirmar que o método atende aos objetivos propostos, embora novas melhorias devam ser introduzidas.

Palavras chave: bases cartográficas planimétricas, trilateração.

Abstract: Municipal governments does not have updated cartographic databases, mainly due to the lack of technical staff and to the problems to maintain surveying instruments properly working. An feasible alternative is the direct measurements of blocks using measuring tapes and some additional lengths linking grid points. Using this lengths and an medium scale map a network adjustment using coordinates constraints can be done. This approach enables the construction of large scale planimetric maps at low cost. The adjustment algorithms were implemented in C language and are being integrated to a CAD system to ensure proper visualization and edition of the adjusted network.

Keywords: Planimetric cartographic databases, Trilateration.

1 Introdução

Um dos maiores problemas das administrações municipais é o estabelecimento e manutenção de bases cartográficas da malha urbana, particularmente de plantas de quadra. Isto se deve à inexistência de pessoal especializado, particularmente topógrafos, e à dificuldade de manter equipamentos de mensuração em funcionamento.

Uma alternativa seria o Aerolevantamento, mas esta técnica é inacessível para pequenas prefeituras, exceto nas escalas médias e pequenas, normalmente custeadas pela administração estadual ou federal. Estas escalas, entretanto, são inadequadas ao cadastro e ao planejamento.

Por outro lado, freqüentemente são feitos levantamentos a trena das testadas dos imóveis e, por conseguinte, são conhecidas medidas lineares das quadras. Se forem tomadas algumas medidas adicionais, "amarrando" as quadras entre si, será possível

realizar um ajustamento em rede de toda a malha pelo método paramétrico. As coordenadas aproximadas podem ser fornecidas por um aerolevante em escala pequena, pela digitalização de fotografias aéreas ou de mapas aproximados existentes nas prefeituras.

Com a disseminação da informática e a diminuição dos custos de hardware e software, praticamente todas as pequenas prefeituras tem disponível um ou mais computadores de pequeno porte, que podem hospedar programas gráficos de domínio público. Nestes sistemas poderão ser manuseadas e processadas as bases cartográficas digitais planimétricas, a serem desenvolvidas com a metodologia empregada.

O impacto deste projeto deverá ser positivo, pois o processo proposto permitirá a manutenção de uma rede planimétrica a um custo muito baixo, o que é fundamental para as administrações públicas de pequeno porte.

Baseando-se nos fatos citados acima, foi elaborado um programa de ajustamento em linguagem C que estima estas coordenadas, utilizando as distâncias medidas à trena e as coordenadas aproximadas dos cantos de quadras, como dados de entrada.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano

Cadastro técnico multifinalitário urbano (CTMU) é um sistema de informações que tem por objetivo orientar e sustentar as decisões da administração pública, formando um conjunto de dados técnicos gerais que darão condições ao planejador de retratar, monitorar e promover o desenvolvimento do município.

O Cadastro técnico multifinalitário tem como principal objetivo o acervo de dados que proporciona, sendo um fornecedor de recurso para suporte financeiro nas ações de planejamento.

2.2 Base Cartográfica

A base cartográfica digital é de fundamental importância em um cadastro, pois permite a organização e armazenamento de um conjunto de dados que seriam impossibilitados de serem apresentados num mapa em papel, devido à riqueza de detalhes que o mundo real apresenta.

Os métodos de produção de bases cartográficas podem topográficos, aerofotogramétricos, por Geodésia ou até mesmo por uma combinação de GPS com medidas lineares, o qual foi utilizado no presente trabalho.

2.3 Posicionamento Planimétrico

Posicionamento planimétrico é a determinação de coordenadas bidimensionais (x,y) de um ponto sobre a superfície terrestre, em relação a um sistema de coordenadas planas. Os principais métodos de posicionamento são a trilateração, a triangulação, a poligonização e a irradiação. A escolha de um método dependerá da finalidade a que se destina o levantamento, do tipo e extensão da área a ser levantada e dos instrumentos disponíveis.

Trilateração

A trilateração é um método de posicionamento, baseado nas medidas dos lados dos triângulos da rede formada, utilizado no transporte de coordenadas de um ponto para outro. A vantagem da trilateração reside em evitar as medidas de ângulos, porém estas medidas estão sujeitas a muitos erros, sendo por isso empregado somente em pequenas distâncias. Este método é preciso, sendo mais utilizado após a invenção dos medidores eletrônicos de distância (MED).

2.4 Medições de Distâncias

De acordo com BLACHUT (1979) em levantamentos, a distância entre dois pontos geralmente refere-se à distância horizontal. As distâncias horizontais podem ser medidas diretamente, ou, se dois pontos tiverem diferentes altitudes, a medida horizontal é obtida através da redução da distância inclinada.

Estas distâncias podem ser obtidas por medições mecânicas, por medições óticas, por métodos eletrônicos, Fotogramétricos ou geodésicos-astronômicos.

O método de medição de distância que melhor se adapta ao trabalho, levando-se em consideração a relação custo-benefício, é o realizado por medições mecânicas.

Medições Mecânicas de Distâncias

A medição mecânica de comprimentos consiste na comparação entre a medida realizada e a medida padrão. Os aspectos positivos deste tipo de levantamento estão na sua simplicidade e no baixo custo dos materiais utilizados. Em geral, estes levantamentos são realizados à trena, que ainda apresenta as soluções mais eficientes nas medições diretas de distâncias curtas.

Erros sistemáticos e acidentais são cometidos nas medições mecânicas de distâncias, sendo estes eliminados através de fórmulas e da adoção de certos cuidados na realização das medidas.

As principais causas desses erros são devidos a:

- comprimento incorreto da trena;
- alinhamento incorreto;
- variação de temperatura, que altera o comprimento da trena;
- ângulo inclinado incorreto;
- catenária;
- alongamento da trena causado pela tração.

Além disso, nos levantamentos à trena, podem ser cometidos erros grosseiros, que são causados, geralmente, por erros nas anotações e nas leituras. Estes erros são detectados e eliminados no momento da realização dos cálculos.

2.5 GPS

O GPS (Global Position System) é um sistema de rádio-navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, com a finalidade de ser o principal sistema de navegação das forças armadas Americana. Em virtude de sua alta tecnologia com uma precisão invejável (milimétrica), o GPS passou a ser utilizado pela comunidade civil para fins de navegação, posicionamento geodésico, topografia, entre outras mais.

Este sistema permite que a qualquer hora e em qualquer lugar da superfície terrestre o usuário tenha à disposição no mínimo quatro satélites para serem utilizados. Em levantamentos convencionais o GPS apresenta a vantagem de não necessitar da intervisibilidade entre as estações, além de poder ser utilizado sob quaisquer condições climáticas.

2.6 Ajustamento das Observações

As distâncias obtidas diretamente em campo são consideradas observações, sendo necessário ajusta-las.

A partir das observações redundantes sujeitas às flutuações probabilísticas e de uma estimativa de sua precisão, o Ajustamento tem por objetivo (Gemael, 1994):

1. estimar, mediante a aplicação de modelos matemáticos adequados e do M.M.Q (Método dos Mínimos Quadrados), um valor único para cada uma das incógnitas do problema;
2. estimar a precisão de tais incógnitas e a eventual correlação entre elas.

Pode-se ainda, com base nas técnicas do ajustamento, detectar a presença de erros grosseiros em um conjunto de observações, efetuar o planejamento da coleta de dados e saber a priori se tais dados atenderão as prescrições estabelecidas.

Dependendo das variáveis (observações e/ou parâmetros) envolvidos no modelo, o ajustamento pode ser realizado por um dos métodos: paramétrico, correlato ou combinado.

Nesta fundamentação teórica será apresentado o método paramétrico com injunção, por ser o método a ser utilizado no trabalho.

Método Paramétrico com injunção

No método paramétrico obtém-se o vetor dos parâmetros ajustado (X_a) com sua respectiva matriz variância – covariância ($\hat{\sigma}_{X_a}$) a partir das equações de observação. As equações de observação envolvem observações e parâmetros, sendo as observações funções explícitas dos parâmetros. Cada observação proporciona uma equação, sendo n o número total de observações, u o número de parâmetros e s o número de observações adicionais (injunções).

O modelo matemático utilizado no método paramétrico com injunção é composto por:

$$L_a = F(X_a) \quad (1)$$

$$L'_a = G(X_a) \quad (2)$$

onde:

L_a – vetor ($n \times 1$) das observações ajustadas;

L'_a – vetor ($s \times 1$) dos parâmetros injuncionados ajustados;

X_a – vetor ($u \times 1$) dos parâmetros ajustados;

F - função que relaciona L'_a e X_a , podendo ser linear ou não;

G -função que relaciona L_a e X_a , podendo ser linear ou não

Os modelos linearizados para método paramétrico com injunção são dados por:

$$Y_1 = A_u * X_1 + L_1 \quad (3)$$

$$Y_1' = C_u * X_1 + L_1' \quad (4)$$

sendo \mathbf{V} , o vetor dos resíduos.

A matriz \mathbf{A} , que corresponde à matriz das derivadas parciais das equações em relação aos parâmetros, é dada por:

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_0} \quad (5)$$

O vetor \mathbf{L} do ajustamento é obtido através da diferença entre o vetor dos valores aproximados L_0 ($L_0 = F(X_0)$) e o vetor dos valores observados L_b :

$$L = L_0 - L_b \quad (6)$$

Similarmente ao vetor \mathbf{L} , tem-se o vetor \mathbf{L}' , que é representado pela diferença entre o vetor dos parâmetros aproximados L_0' ($L_0' = G(X_0)$) e o vetor dos parâmetros injuncionados L_b' , que são tratados como observações (adicionais) ou pseudo-observações.

$$L' = L_0' - L_b' \quad (7)$$

A matriz \mathbf{C} , que corresponde à matriz das derivadas parciais das equações de injunção em relação aos parâmetros, é dada por:

$$C = \left. \frac{\partial G}{\partial X_a} \right|_{X_0} \quad (8)$$

O vetor \mathbf{X} das correções aos parâmetros, é dado por:

$$X = -(A^T P A + C^T P_{inj} C)^{-1} (A^T P L + C^T P_{inj} L') \quad (9)$$

$$X = -(N + N')^{-1} (U + U') \quad (10)$$

onde:

\mathbf{N} e \mathbf{N}' – matrizes ($u \times u$) dos coeficientes das equações normais;

\mathbf{U} e \mathbf{U}' – vetores ($u \times 1$) dos termos independentes;

\mathbf{P} – matriz ($n \times n$) peso das observações ($P = \sigma_0^2 \sum_{L_b}^{-1}$);

\mathbf{P}_{inj} – matriz ($s \times s$) peso das injunções ($P_{inj} = \sigma_0^2 \sum_{L_b'}^{-1}$).

O vetor dos parâmetros ajustados \mathbf{X}_a é obtido como segue:

$$X_a = X_0 + X \quad (11)$$

sendo:

\mathbf{X}_0 – vetor dos valores aproximados dos parâmetros;

\mathbf{X} – vetor das correções aos parâmetros.

A matriz variância – covariância é obtida como segue:

$$\sum x_n = \hat{\sigma}_0^2 * N^{-1}$$

(12)

$$N = N + N'$$

$$\hat{\sigma}_0^2 \text{-fator de variância a posteriori (} \hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T PV}{n - u + s} \text{);}$$

Quando as equações envolvidas no ajustamento são não lineares, é necessário realizar iterações no ajustamento. Para tal, critério de convergência deve ser estabelecido, a fim de decidir o número de iterações, e com isso obter um resultado que seja adequado às finalidades a que se destinam.

2.7 Sistema CAD

Um elemento importante para este projeto é o sistema CAD, que permitirá a coleta rápida das coordenadas aproximadas da malha.

Segundo AMANDIO (1995), os sistemas CAD (*Computer Aided Design*) são um conjunto de software e hardware para automação do processo de construção de desenhos geométricos e projetos de engenharia. Em geral, o CAD é formado por três módulos:

- **Módulo de Desenho:** conjunto de primitivas gráficas para desenhos de arcos, linhas, círculos, polígonos, pontos, que permitem construir todo o desenho por um processo interativo (sistema/usuário). O teclado, a mesa digitalizadora e o mouse destacam-se como periféricos para captura das coordenadas cartesianas que definem as entidades gráficas;

- **Módulo de Edição / Manipulação:** rotinas computacionais (como eliminação, duplicação, união, divisão e rotação de objetos, inserção de textos, elaboração de layout), para efetuar correções sobre o desenho construído. As funções de manipulação permitem navegação e ampliação de imagens, cálculos de áreas, perímetros e distâncias;

- **Módulo de Reprodução:** rotinas para reprodução do desenho construído, em escala e cores apropriadas, por meio de uma impressora ou ploter.

Uma das características dos sistemas CAD é a possibilidade de associar atributos alfanuméricos às entidades gráficas. No caso específico do projeto, o sistema será usado para atribuir as distâncias medidas às feições já restituídas, permitindo a exportação do arquivo com as distâncias medidas diretamente identificadas como atributos.

3 Metodologia

A metodologia para solucionar o problema consiste, inicialmente, na extração de coordenadas aproximadas de uma rede planimétrica urbana através de um sistema CAD ou de cartas aproximadas do local. Além disso, é necessária a realização de medidas lineares das testadas dos imóveis e dos cruzamentos das ruas correspondentes às coordenadas medidas. Estas medidas são realizadas à trena, que possui boa precisão (se realizado adequadamente) e não dispõe de custo elevado.

Para a realização de um controle de qualidade e monitoramento da deformação da rede de pontos, são coletadas as coordenadas de alguns pontos da mesma com um receptor GPS.

Com estes dados foi implementado um programa de ajustamento pelo método paramétrico com injunções, onde as coordenadas iniciais, exportadas do CAD por arquivos do tipo DXF, são os parâmetros (incógnitas), as distâncias medidas são as observações e os pontos de controle são inseridos como injunções com pesos menores. Após a realização do ajustamento, faz-se uma análise dos resultados obtidos e posteriormente estes são exportados em arquivo DXF novamente para o CAD.

O programa foi implementado conforme o fluxograma apresentado na figura 1:

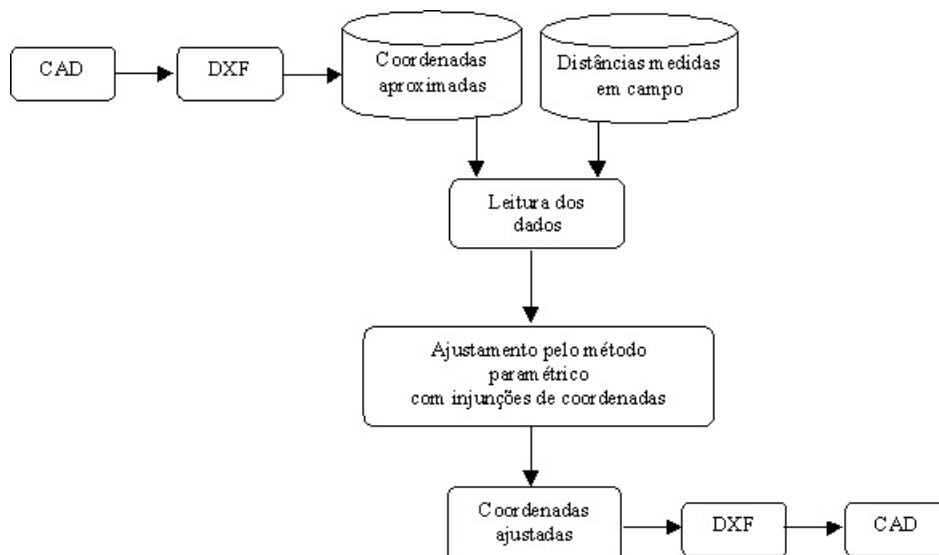


Fig. 1 : Fluxograma do processo

4 Experimentos

Para testar o programa de ajustamento desenvolvido, realizou-se, no Jardim Bongiovani em Presidente Prudente, um trabalho topográfico, onde foram feitas em 9 quadras residenciais, medidas de distâncias à trena das testadas dos imóveis e dos cruzamentos das ruas correspondentes aos pontos escolhidos.

As coordenadas aproximadas dos pontos da rede foram coletadas de uma carta, na escala 1:10000, em formato digital (DXF) da região de Presidente Prudente, utilizando o software MicroStation para esta visualização e extração.

Para um monitoramento da deformação da rede, foram coletados 5 pontos de alta precisão com um receptor GPS. Estes pontos foram introduzidos gradativamente nas coordenadas aproximadas com a finalidade de analisar os resultados a cada ponto GPS.

A tabela 1 fornece uma comparação entre as coordenadas obtidas pelo programa e as coordenadas coletadas pelo receptor GPS nos pontos de verificação, isto é, com relação aos pontos GPS que não foram utilizados no teste.

De acordo com os resultados obtidos na tabela 1, pode-se observar que a partir de quatro pontos GPS utilizados e bem espaçados pela rede, nos quatro cantos, por exemplo, as coordenadas ajustadas fornecem uma precisão satisfatória aos trabalhos convencionais.

Tabela 1: Diferença entre coordenadas ajustadas e as dos pontos de verificação

Número de pontos GPS utilizados como controle	Dif. entre Coord. Ajustada e Coord. GPS nos pto. de verificação	
	E	N
2	2.9981	-8.8909
	9.4028	-11.8944

	11.9629	-8.6567
3	3.2499	-7.8381
	-2.1448	-2.716
4	-1.1731	-1.5179

Na figura 2 mostra-se a malha resultante (em branco) e a malha original (em vermelho), bem como os pontos GPS, assinalados com círculos azuis. No experimento mostrado foram usados 4 pontos GPS para controle. Pode-se observar claramente, algumas distorções na malha, que ocorrem naquelas quadras que não possuem pontos de controle. Isto ocorre porque as equações de observação foram estabelecidas em função das distâncias e estas não são suficientes para garantir a correta representação da rede.

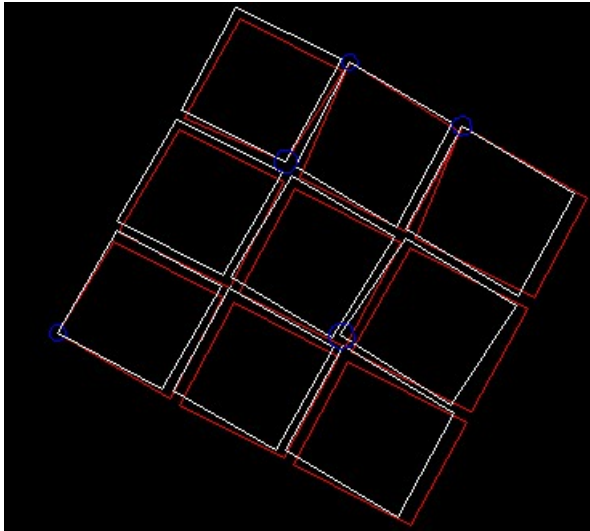


Fig. 2 : Malha original e malha ajustada

Uma alternativa acessível seria a introdução de injunções de colinearidade para os pontos de mesmo alinhamento, uma vez que as malhas urbanas são, geralmente, implantadas como malhas regulares. Esta alternativa deve eliminar parte das deformações observadas e será implementada como a parte seguinte do projeto.

5 Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que o programa implementado fornece bons resultados, como mostram os experimentos, pois foram coletados pontos com precisões de 5m e após o ajustamento estes adquiriram precisões de aproximadamente 1m.

Estes resultados estão relacionados com o número e distribuição dos pontos de controle (pontos GPS) utilizados, conforme mostra a tabela 1. Com relação a isso, serão estudados e realizados novos experimentos para se obter a melhor configuração para estes pontos.

Entretanto, algumas deformações foram observadas e a sua eliminação depende do fornecimento de mais informações, que podem ser pontos de controle adicionais ou, como pretende-se estudar a seguir, injunções de colinearidade.

Além disso, para a melhor estruturação do programa, serão implementadas funções para leitura e exportação de arquivos do tipo DXF, com a finalidade de importar e exportar as coordenadas aproximadas dos sistemas CAD.

Agradecimentos:

Este trabalho é financiado pela FAPESP (Processo nº 00/00959 - 6).

6 Referências Bibliográficas

Muniz, D.P, Medeiros, F.F., Gameiro, L. & Nakashima, R.C.G., *Implantação do Cadastro Técnico Multifinalitário em uma Área Teste.* Trabalho de Graduação, Unesp, Presidente Prudente, 1996.

Loch, C., *Importância do Cadastro Técnico no Planejamento Urbano.* In: X Encontro Nacional de construção, ANAIS, Gramado, RS, 1990.

Gemael, C., *Introdução ao Ajustamento de Observação: aplicações geodésicas*. 1^a ed. Curitiba: Ed. UPFR, 1994.

Camargo, P.O., *Ajustamento de Observações*. Notas de aula, Unesp, Presidente Prudente, 1999.

Blachut, T.J, Chrzanowski, A., Saastamoinen, J.H., *Urban Surveying and Mapping*. Springer-Verlag, New York – USA. 1979.

Amandio, T., *Conceitos de SIG*. Fator GIS, Curitiba, n^o 11. 1995.

Espartel, L., *Curso de topografia*. Rio de Janeiro: Globo, 9 ed. 1987.

