

Métodos de levantamentos topográficos planimétricos para o georreferenciamento de imóveis rurais

Alison Galdino de Oliveira Silva¹
Verônica Wilma Bezerra Azevedo¹
Andréa de Seixas¹

¹ Universidade Federal de Pernambuco
Av Acad. Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária. 50740-530
Recife, PE, Brasil.
{alison.osilva, veronica.azevedo, aseixas,}@ufpe.br

Resumo: A Lei 10267/2001 determina que as propriedades rurais devem estar georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB (no caso o SAD-69 ou SIRGAS2000). Visando analisar as metodologias de levantamento que possam atender a Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA, neste trabalho são mostrados alguns métodos topográficos planimétricos de transporte de coordenadas geodésicas (e os ajustamentos das observações do método da poligonação e da interseção a vante utilizando o método paramétrico), os quais podem auxiliar o georreferenciamento dos imóveis na região do Pantanal. O transporte dessas coordenadas é de grande relevância porque é necessário a densificação das estruturas geodésicas na região de trabalho, principalmente aquelas que abrangem uma grande área, como é o caso do Pantanal. Há vários métodos de transporte de coordenadas, a exemplo: método polar, método da interseção à vante, método da interseção à ré (resseção) e o método da poligonação, porém os mais utilizados pelos profissionais da área e recomendados pela norma do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) são o método da poligonação e o método do irradiação simples (polar), para o caso de instrumentos com medidores eletrônicos de distância, para determinação dos limites dos imóveis. É bastante importante a diferenciação de cada um desses métodos de levantamentos topográficos planimétricos, pois cada um possui suas particularidades e limitações.

Palavras-chaves: métodos de levantamentos topográficos planimétricos, ajustamento das observações, georreferenciamento de imóveis rurais.

Abstract: The law 10267/2001 determines that the rural properties must be georeferenced to Brazilian Geodesic System - SGB (in the case SAD-69 or SIRGAS2000). Aiming at to analyze the survey methodologies that can take care of to the Norm Technique of Georeferencing de Rural Properties of the INCRA, in this work some planimetric topographical methods of transport of geodesic coordinates are shown (and the adjustments of the comments of the traverse method and the intersection method with parametric method), which can assist the georeferencing of the property in the region of the Pantanal. The transport of these coordinates is of great relevance because the densification of the geodesic structures in the work region is necessary, mainly those that enclose a great area, as it is the case of the Pantanal. It has some methods of transport of coordinates, the example: polar method, intersection method, resection method and the traverse method, however the most used for the professionals of the area and recommended by the norm of the National Institute of Settling and Agrarian Reform (INCRA) they are the traverse method and the polar method, for the electronic case of instruments with distance measurers, for determination of the limits of the property. The differentiation of each one of these methods of planimetric topographical surveys is sufficiently important, therefore each one has its specialties and limitations.

Keywords: planimetric topographical methods, adjustments of the comments, georeferencing of rural properties.

1. Introdução

A Lei 10.267/2001 estabelece o georreferenciamento dos imóveis rurais segundo o qual os limites das propriedades rurais devem ser levantados uma única vez a partir do Sistema Geodésico Brasileiro em vigor (SAD-69 ou SIRGAS2000) com suas coordenadas submetidas a uma análise de precisão feita com relação aos vértices comuns às propriedades vizinhas, que deve ser menor que 0,50 m de acurácia.

A Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA (2003) apresenta as especificações, metodologias e definição dos equipamentos a serem utilizados nas atividades do georreferenciamento. Nela, os levantamentos topográficos são definidos como aqueles que utilizam medições angulares, lineares e de desníveis obtidos através de, respectivamente, teodolitos, medidores eletrônicos de distâncias e níveis em suas diversas combinações e cálculos decorrentes e destinam-se a fornecer arcabouço de pontos diversos com coordenadas e altitudes para a utilização nos levantamentos que visam a determinação do perímetro e do georreferenciamento do imóvel.

Como ainda não existe uma definição clara dos limites da faixa de fronteira no Brasil, cuja responsabilidade é do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), poderá haver alguns problemas quanto ao georreferenciamento de imóveis rurais na região do Pantanal, já que a mesma faz fronteira com a Bolívia e Paraguai, dificultando assim, a homologação de registro de imóveis nesta região. Um outro problema que se pode encontrar é com relação à não homogeneização dos trabalhos topográficos. Para maiores esclarecimentos sobre este assunto verificar a literatura de GARNÉS (1998).

Na realização dos levantamentos topográficos, os conceitos de definição de sistemas de referência, assim como campo de pontos de referência e campo de pontos-objeto devem ser entendidos e diferenciados pelos profissionais que realizam este tipo de levantamento. Uma poligonal, por exemplo, constitui um campo de pontos de referência sob a qual se pode determinar pontos de detalhes (pontos-objeto) e densificar uma dada região.

Visando a densificação das estruturas geodésicas em regiões que abrangem grandes áreas, como é o caso do Pantanal, são apresentados neste trabalho os métodos de levantamentos topográficos que possam atender às Normas do INCRA e também o ajustamento das observações do método da poligonação e da interseção a vante, este último à base de um aplicativo que foi desenvolvido em linguagem MATLAB.

2. Objetivos

Desenvolver um estudo sobre os métodos de levantamentos topográficos planimétricos e também descrever o ajustamento das observações empregado nos métodos da interseção a vante e da poligonização, a fim de que sejam utilizados no georreferenciamento de imóveis rurais na região do Pantanal, segundo as especificações da Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA (2003).

3. Material e Métodos

Foi realizada uma revisão bibliográfica referente aos métodos de levantamento topográficos planimétricos (poligonização, método polar, a interseção a vante e a interseção a ré) e também sobre o ajustamento de poligonais e do método da interseção a vante, utilizando como fontes livros de topografia antigos e atuais, artigos publicados e a internet. Foi desenvolvido um aplicativo em linguagem MATLAB para realizar o ajustamento do método da interseção a vante.

Os dados utilizados para o ajustamento das observações foram obtidos a partir de simulações e de levantamentos topográficos realizados com equipamentos do Laboratório de Topografia da UFPE (estação total Trimble – Série 3305 - precisão angular: 5” e precisão linear de 5mm ± 5ppm e acessórios).

4. Resultados e Discussão

Das definições de Silva et al (2004) um campo de pontos de referência é definido como o espaço geodésico ou cartesiano que contempla os aspectos de otimização geométrica das estruturas geodésicas envolvidas, físicos de sua materialização, estocásticos das realizações das variáveis aleatórias envolvidas no processo de medição e de estabilização dos seus pontos na definição do Sistema de Referência de Medição.

Uma poligonal é um campo de pontos de referência sob a qual se podem determinar pontos de detalhes e densificar pontos numa dada região.

Silva et al (2004) também define o campo de pontos-objeto como o espaço geodésico ou cartesiano agregado aos aspectos de otimização geométrica da superfície que representará o objeto, sob o enfoque, por exemplo, da teoria dos elementos finitos, físicos de sua materialização e estocástico das realizações das variáveis aleatórias envolvidas no processo de medição empregado quer de natureza geodésica, topográfica e procedente de outras fontes como medições elétricas de grandezas não elétricas, medições interferométricas, etc.

O levantamento de detalhes de uma dada região é um exemplo de campo de pontos-objeto.

4.1 Método da Poligonização

Uma poligonal consiste de um polígono irregular do qual são medidos os ângulos entre alinhamentos consecutivos e as distâncias entre os vértices vizinhos, para se determinar as coordenadas retangulares de seus vértices. Para o transporte de coordenadas utilizando este método é recomendável ter, pelo menos, dois pontos de coordenadas conhecidas, para uma poligonal apoiada nos mesmos pontos (**Figura 1**) e quatro pontos de coordenadas conhecidas para uma poligonal apoiada em pontos distintos (**Figura 2**).

A Norma Técnica do INCRA (2003) faz as seguintes recomendações para a aplicação da poligonização: Proporcionar o levantamento de imóveis rurais, demarcando-o segundo limites

respeitados pelos confrontantes, fornecendo coordenadas dos vértices e das divisas, permitindo a sua caracterização. A norma do INCRA exige para as poligonais topográficas de apoio um controle azimutal com pontos de Laplace. Já as poligonais de demarcação devem começar e terminar em pontos distintos com coordenadas conhecidas e azimutes de controle. Essa exigência de controle azimutal para o fechamento angular também é explícita na NBR-13.133.

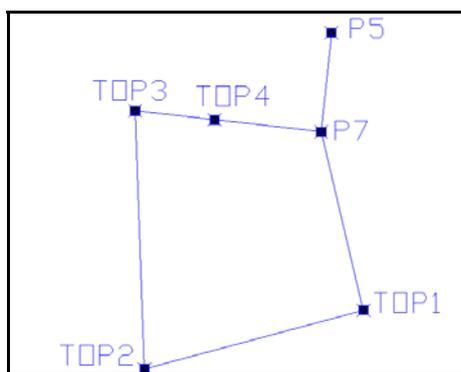


Figura 1. Exemplo de uma poligonal apoiada nos mesmos pontos (P5 e P7).

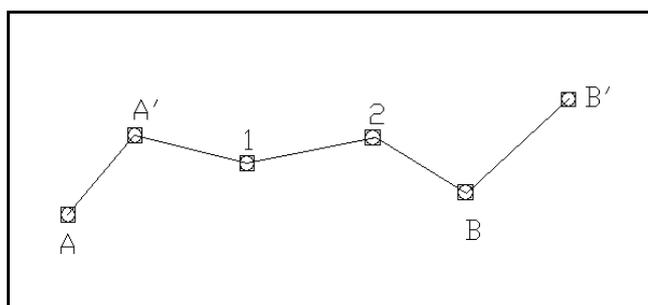


Figura 2. Exemplo de uma poligonal apoiada em pontos distintos (A, A', B e B').

Na **Figura 1**, os pontos de coordenadas geodésicas conhecidas são: P5 e P7. Os outros pontos (TOP1, TOP2, TOP3 e TOP4) são os pontos que se deseja determinar as coordenadas. Já na **Figura 2**, os pontos de coordenadas conhecidas são: A, A', B e B', e os pontos 1 e 2 são os pontos que se desejam determinar as coordenadas. Este tipo de poligonal é recomendada pela Norma Técnicas do INCRA para o levantamento e demarcação dos limites de propriedade.

Em uma poligonação é extremamente necessário que se aplique o método da centragem forçada para minimizar os erros de centragem no ponto. É necessário evitar ângulos muito agudos (em torno de 180°) e desníveis exagerados entre estações consecutivas.

No que se refere ao ajustamento das observações da poligonal, a Norma Técnica do INCRA (2003) afirma que se pode fazer a compensação das observações, sendo desejável o ajuste pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Dentre outros, devem ser apresentados:

- Cálculo do fechamento angular;
- Erro angular;
- Correção angular;
- Cálculo do azimute dos alinhamentos;
- Cálculo das projeções provisórias;
- Cálculo da diferença de coordenadas entre os pontos de partida e de chegada – caso da poligonal fechada e apoiada em pontos distintos;
- Erro de fechamento linear;
- Precisão relativa da poligonal;
- Cálculo da correção linear;
- Cálculo das projeções corrigidas;
- Cálculo das coordenadas finais.

O modelo matemático do ajustamento das observações pelo método paramétrico é:

$$\mathbf{L}_a = \mathbf{F}(\mathbf{X}_a)$$

Onde: L_a – vetor das observações ajustadas ($n \times 1$);
 X_a – vetor dos parâmetros ajustados ($u \times 1$);
 F – função que relaciona L_a e X_a , podendo ser linear ou não linear;
 n – número de equações;
 u – número de parâmetros.

Para maiores esclarecimentos verificar a literatura de CAMARGO et. al. (1996).

No caso de observações ajustadas pelo MMQ paramétrico é importante salientar a redundância de observações para tornar possível o ajustamento. A Norma Técnica do INCRA recomenda que as coordenadas do vértice de propriedade, no levantamento convencional, devem ser ajustadas pelo Método dos Mínimos Quadrados, mas não especifica o irradiamento duplo nestes casos. No entanto, o ajustamento pelo MMQ depende de abundância de dados, e fazendo-se apenas a irradiação simples, onde cada ponto é visado apenas de uma estação, o número de observações será igual ao número de incógnitas, impossibilitando o ajustamento.

Com o método paramétrico quando aplicado no ajustamento de triangulação, trilateração, poligonação, ou combinação entre tais processos de levantamentos obtém-se ao final do ajustamento as coordenadas finais dos vértices com suas respectivas precisões (GEMAEL, 1994, In: CAMARGO et al, 1996).

4.2 Método Polar

O método polar é também conhecido como método da irradiação sendo o mais utilizado para levantamentos de detalhes. Pode ser utilizado para um ou vários pontos em que se desejam obter as coordenadas. Para isso são medidos ângulos e distâncias. A **Figura 03** ilustra o método polar.

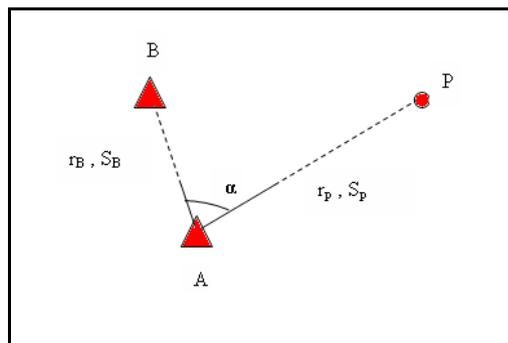


Figura 3. Exemplo do método polar.
Fonte: Kahmen e Faig (1988).

Na **Figura 03**, as coordenadas do ponto P são calculadas da seguinte forma:

$$X_p = S_p \cdot \sin(AZ_{AB} - r_B + r_p)$$

$$Y_p = S_p \cdot \cos(AZ_{AB} - r_B + r_p)$$

Onde:

$$\alpha = (r_p - r_B)$$

α = diferença entre as direções r_p , r_B .

AZ_{AB} = azimute de AB;

r_p, r_B = direções medidas;
 S_p = distância medida.

Para trabalhos que exigem uma maior precisão, deve-se proceder da seguinte forma:

$$q = (S_{AB})/(S_B)$$

$$S_{AB} = [(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2]^{1/2}$$

Desta forma, as coordenadas do ponto P serão:

$$X_p = q \cdot S_p \cdot \text{sen}(r_p + \alpha)$$

$$Y_p = q \cdot S_p \cdot \text{cos}(r_p + \alpha)$$

Onde q representa um fator de escala entre a distância calculada S_{AB} e a distância S_B .

Este método caracteriza-se por ser um método não-homogêneo no sentido de distribuição do erro, visto que ele apresenta uma precisão relativa, ou seja, a precisão de um ponto é relacionada à precisão de outro ponto vizinho.

São utilizados também os métodos trigonométricos quando os pontos-objeto não são de fácil acesso. Basicamente existem dois métodos para determinação trigonométrica de pontos: a interseção a vante e a interseção a ré (resseção).

4.3 Método da Interseção a vante

Quando os pontos-objeto não são de fácil acesso utilizam-se métodos trigonométricos para determiná-los. O método da interseção a vante é aplicado medindo-se as direções para o ponto em que se deseja determinar as coordenadas, a partir de pontos de coordenadas conhecidas (**Figura 4**).

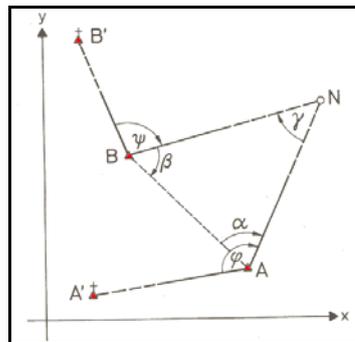


Figura 4. Método da Interseção a vante (com dois ângulos α e β).
Fonte: Kahmen e Faig (1988).

As coordenadas do ponto N são calculadas da seguinte forma:

$$X_N = X_A + AN \cdot \text{sen}(AZAN) = X_B + BN \cdot \text{sen}(AZBN)$$

$$Y_N = Y_A + AN \cdot \text{cos}(AZAN) = Y_B + BN \cdot \text{cos}(AZBN)$$

$$AZAN = AZAA' + \varphi$$

$$AZBN = AZBB' + \psi$$

Onde:

φ – ângulo medido entre as direções AA' e BB' ;

ψ – ângulo medido entre as direções BB' e BN ;
 $AZAA'$ – azimute de AA' ;
 $AZBB'$ – azimute de BB' ;
 $AZAN$ – azimute de AN ;
 $AZBN$ – azimute de BN ;
 AN – distância calculada de A a N ;
 BN – distância calculada de B a N .

Pela Lei dos Senos:

$$AN = AB (\sin\beta/\sin\gamma)$$
$$BN = AB (\sin\alpha/\sin\gamma)$$

A precisão do método da interseção a vante (σ_N) depende de alguns fatores, tais como a geometria do triângulo (**Figura 05**) e da precisão das direções medidas e o desvio-padrão do ponto para expressar a qualidade de sua determinação.

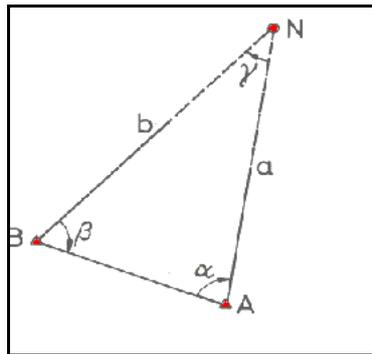


Figura 5. Método da Interseção a Vante (com dois ângulos α e β).
Fonte: Kahmen e Faig (1988).

$$\sigma_N = (1/\sin\gamma).(a^2+b^2)^{1/2} \cdot \sigma_\alpha$$

Onde:

a e b - distâncias calculadas;
 σ_α é o desvio-padrão das direções;
 $\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$;
 α e β - ângulos medidos;
 A e B – pontos de coordenadas conhecidas;
 N – ponto de coordenadas desconhecidas.

Para estudar detalhadamente este método, foi desenvolvido um aplicativo em linguagem MATLAB (**Figura 6 – (a) e (b)**) para o ajustamento das observações. Para isso foram utilizados dados de literaturas para verificar a eficácia do programa. Este programa possui a vantagem de ser aberto, aceita modificações e implementações posteriores, além de ser uma ferramenta de grande utilidade para cálculos matriciais.

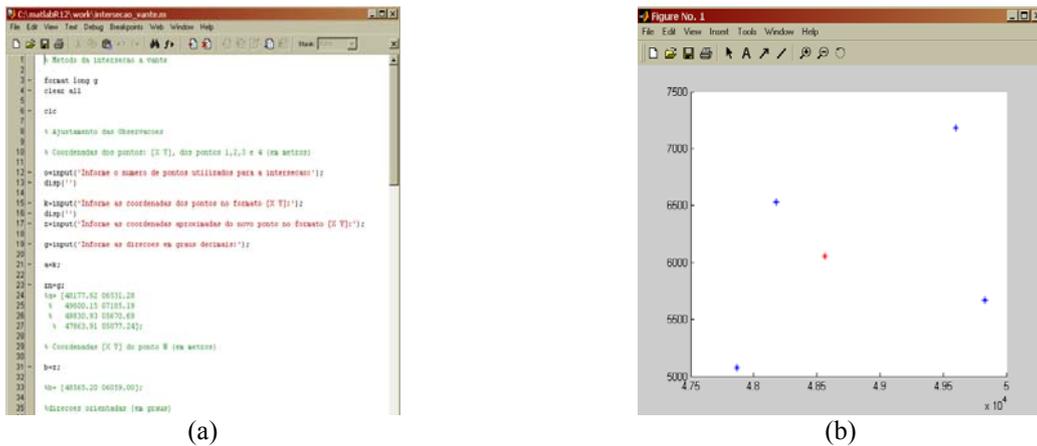


Figura 6 (a) e (b). Ajustamento do método da interseção a vante feito no MATLAB.

Na Figura 6 (a) tem-se o programa fonte para o método da interseção a vante. Na Figura 6 (b) tem-se as coordenadas dos pontos ajustadas. Nesta figura, os pontos em azul são os pontos em que se fez as medições e o ponto em vermelho foi determinado pela interseção de linhas retas.

4.4 Método da Interseção a ré (resseção)

A interseção a ré é feita com as medições de direções de um ponto qualquer a pontos de coordenadas conhecidas (P_i , P_1 , P_2 , P_3 – Figura 7). A solução das coordenadas do ponto que se quer determinar (ponto N) é baseada na interseção de, pelo menos, três linhas retas.

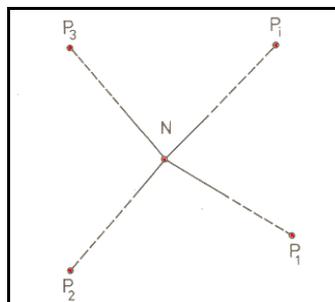


Figura 7. Interseção a ré (caso geral).
Fonte: Kahmen e Faig (1988).

Enquanto que na interseção a vante estaciona-se com o instrumento de medição sobre pontos de coordenadas conhecidas, na interseção a ré centraliza-se o instrumento de medição sobre o ponto que se deseja determinar.

As configurações ideais para a realização deste método são mostradas na Figura 8 (a) e (b).

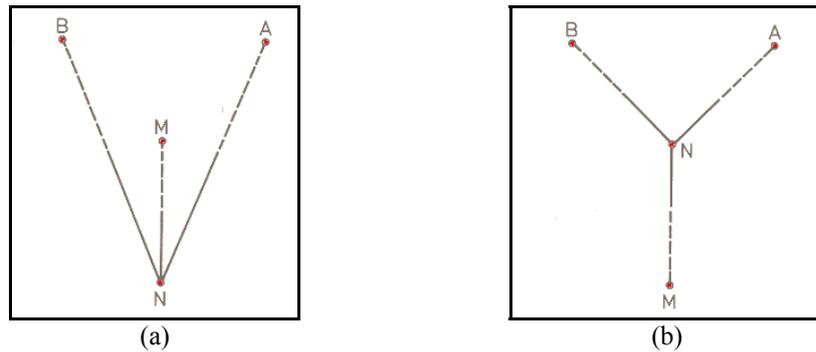


Figura 8 (a) e (b). Configurações ideais para o método da resseção.
Fonte: Kahmen e Faig (1988).

A Precisão da resseção é dada pela **Figura 9**. Segundo Kahmen e Faig (1988), o ponto N é geometricamente determinado pela interseção de dois círculos. Um círculo passa através dos pontos B, N e M, o outro através dos pontos M, A e N. Se o novo ponto (N) é locado nos círculos passando através dos pontos fixos A, M, B, então a solução é indeterminada.

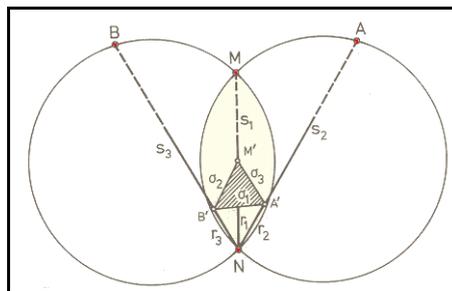


Figura 9 – Resseção geométrica e o triângulo recíproco.
Fonte: Kahmen e Faig (1988).

4.5 Aplicação dos Métodos ao Georreferenciamento dos Imóveis Rurais

O estudo de metodologias que possam atender as especificações da Norma Técnica do INCRA na realização de serviços de georreferenciamento de imóveis rurais é de significativa importância nas discussões acadêmicas visto que a utilização de métodos de posicionamento global no levantamento de imóveis rurais, que não é o caso deste trabalho, tem encontrado grande subsídio nas técnicas convencionais de levantamento. Caso haja uma combinação entre métodos de levantamentos, é necessária a redução geométrica das distâncias ao plano topográfico (Kahmen e Faig, 1988).

O método da poligonização é muito empregado no georreferenciamento de imóveis rurais principalmente nas fases de levantamento do perímetro e desenvolvimento da poligonal de apoio à demarcação. A compensação das distâncias e dos ângulos é aceita pelo INCRA segundo as informações de fechamento da poligonal. No caso de observações ajustadas pelo MMQ deve-se salientar a importância de abundância de observações para o ajustamento das observações.

O método polar (irradiamento simples) é o método mais empregado pelos profissionais para levantamento de detalhes (pontos-objetos). É empregado principalmente na determinação das coordenadas dos vértices definidores de limite de propriedade que devem atender uma precisão de 50 cm em relação com o seu vizinho.

O método da interseção a vante deve ser empregado, de acordo com a norma técnica do INCRA (2003), na realização de poligonais por taqueometria, onde cada ponto é visado a

partir de duas estações distintas. Essa é uma forma de obter melhores resultados na determinação do limite da propriedade e este procedimento também é importante no emprego do MMQ ao ajustamento das observações.

O método da interseção a ré (resseção) é empregado raramente para determinar as coordenadas dos vértices da propriedade, pois geralmente há algum obstáculo como cercas ou muros nos limites da mesma. Este método poderá ser empregado para a densificação de estruturas geodésicas (campo de pontos de referência). O profissional deve levar em conta a configuração geométrica das estações para tornar possível o ajustamento das observações deste método (cf. **Figura 9**).

5. Conclusões

Os métodos de levantamentos topográficos planimétricos (poligonação, irradiação simples, interseção a vante e interseção a ré) e seus respectivos ajustamentos podem ser empregados no georreferenciamento de imóveis rurais na região do Pantanal de forma adequada, pois atendem às normas técnicas definidas pelo INCRA (2003) e não apenas os métodos da poligonação e irradiação simples, como a maioria dos profissionais utiliza. Ressalta-se aqui a importância da elaboração de uma legislação específica para os limites de fronteira do país, para garantir o registro do imóvel nesta região.

Com relação ao ajustamento das observações, a abundância de dados se faz necessária para o ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e por compensação, para garantir uma melhor precisão ao levantamento, principalmente para as poligonais de controle imediato (classe P2).

A vantagem de se utilizar o MMQ para o ajustamento dos métodos de levantamentos topográficos planimétricos é o fato de se obter, no final do ajustamento, as coordenadas ajustadas e sua precisão.

O desenvolvimento de aplicativos livres, como apresentado neste trabalho, para o ajustamento das observações aplicado aos métodos de levantamento topográfico planimétrico é extremamente importante, pois possibilita uma visualização gráfica dos resultados ajustados, além de mostrar as etapas da execução dos cálculos, auxiliando assim, a verificação dos dados obtidos em campo.

6. Referências

- ABNT. NBR-13.133 – **Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos**. 1994.
- Camargo, P. O., Cordini, J., Fari, S. M. **Ajustamento de poligonais topográficas pelo método paramétrico**. 2º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico – COBRAC. Florianópolis, SC. 1996.
- Dalmolin, Q. **Ajustamento por Mínimos Quadrados**. Curitiba-PR. 2002.
- Espartel, L. **Curso de Topografia**. 9ª Edição. Editora Globo. Rio de Janeiro, RJ. 1987.
- Garnés, S. J. A. Sistema de Projeção e Orientação das Plantas Topográficas. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico – COBRAC. Florianópolis, SC. 1998.
- Gemael, C. **Ajustamento das Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba. Editora UFPR. 1994.
- Kahmen, H., Faig, W. **Surveying**. Berlin. 1988. Ed. de Gruyter.
- Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDE). **Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). 2003.
- Silva, I. W. do A., Escobar, I.P., Mello, M. P. de. **Uma metodologia sobre a delimitação da faixa de fronteira do Brasil**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico – COBRAC. Florianópolis, SC. 2004.
- Silva, T. F., Seixas, A., Romão, V.M.C. **Conceituação de Campos de Pontos na Deformação de Objetos**. Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife. 2004.