



Revista Brasileira de Cartografia (2012) N° 64/2: 227-247  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **IMPLANTAÇÃO E ANÁLISE DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS PLANIMÉTRICAS OBTIDAS POR GPS E ESTAÇÃO TOTAL: APLICAÇÕES EM LEVANTAMENTOS CADASTRAIS URBANOS**

*Implantation and Analysis of Planimetric Geodesic Structures Obtained by GPS  
and Total Station: Applications in Urban Cadastral Survey*

**Luciene Ferreira Gama<sup>1</sup>, Andréa de Seixas<sup>2</sup>  
& Angela Maria Barbosa de Souza<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB**  
**Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento - IFPB**  
Av. 1° de maio, n° 720 – Jaguaribe – João Pessoa – PB – 58015-430  
gamalf@gmail.com

**<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco - UFPE**  
**Centro de Tecnologia e Geociências – CTG/ Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife – PE**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**  
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n Cidade Universitária, Recife – PE – 50740-530  
aseixas@ufpe.br, angelabarbosa2000@yahoo.com.br

*Recebido em 31 Janeiro, 2012/ Aceito em 12 Março, 2012*  
*Received on January 31, 2012/ Accepted on March 12, 2012*

### **RESUMO**

A implantação e densificação de estruturas geodésicas definidoras de campos de pontos de referência, esses georreferenciadores de campos de ponto-objeto, com critérios e tolerâncias adequadas são de grande importância para as aplicações na Engenharia. No caso deste artigo, trata-se de aplicação para os levantamentos cadastrais urbanos. O crescente desenvolvimento dos métodos e técnicas GPS, tais como: estático, estático rápido, “stop-and-go” e, principalmente nos últimos anos, com o surgimento do método Cinemático em Tempo Real (RTK) deu origem a questionamento sobre os métodos e níveis de precisão para a realização dos levantamentos cadastrais. Mesmo com o avanço cada vez maior da tecnologia GPS, nem sempre é possível levantar pontos apenas com essa tecnologia, devido a eventuais obstruções aos sinais GPS que podem existir nos locais de interesse. Por isso, faz-se necessário o emprego de métodos terrestres de medição angular e linear com Estação Total, para a determinação de pontos intervisíveis, em áreas impossibilitadas de receber os sinais dos satélites GPS; áreas essas frequentes em ambientes urbanos brasileiros. Para gerenciamento e planejamento territorial é necessário que as parcelas territoriais urbanas sejam georreferenciadas a um Sistema Geodésico de Referência único e que atendam às condições do princípio de vizinhança. Este envolve a determinação da precisão posicional de um ponto a partir da precisão de pontos vizinhos. Neste contexto, foi implantado no *campus* da UFPE um conjunto de campo de pontos de referência de caráter estável medido pela tecnologia GPS empregando os métodos: estático, “stop-and-go” e Estação Total. O campo de pontos-objeto foi determinado por irradiação tripla e simultânea. Posteriormente, os dados destas medições terrestres foram utilizados para cálculos com o método da interseção a vante. Tanto o campo de pontos de referência quanto o campo de pontos-objeto tiveram suas coordenadas ajustadas por Mínimos Quadrados através do Método de Ajustamento Paramétrico a um nível de confiabilidade de 95%. Uma vez concluídos e testados os experimentos no *campus*, implantou-se no Sítio Histórico de Olinda um outro conjun-

to de campo de pontos de referência medido pela Tecnologia GPS empregando o método estático e Estação Total aplicando o método de poligonização. O campo de pontos-objeto foi determinado por irradiação dupla e intersecção a vante. Desta forma, os objetivos deste trabalho consistem em testar metodologias viáveis no levantamento cadastral para atender ao princípio de vizinhança, buscando-se assim, critérios e tolerâncias posicionais adequadas para a implantação e densificação de estruturas geodésicas definidoras de campo de pontos de referência e campo de pontos-objeto. Este último entendido como pontos de limites de parcelas territoriais.

**Palavras chaves:** Levantamentos Cadastrais Urbanos, Campo de Pontos de Referência, Campo de Pontos-objeto, GPS, Estação Total, Métodos Terrestres de Medição, Estruturas Geodésicas.

## ABSTRACT

Implantation and densification of geodesic structures define fields of reference points. These georeferences of fields for object-point, with suitable criteria and tolerance are of great importance for Engineering applications. In this paper, the concern is related to urban register surveys. The increasing development of GPS methods and techniques, such as static, rapid static, “stop-and-go”, and especially during the last years with the advent of Real Time Kinematic (RTK) method, originated questions about methods and precision levels for the accomplishment of register surveys. Even with the advance of GPS technology, it is not always possible to survey points just with this technology due to occasional obstructions of the GPS signals that may occur in the interested places. For this reason, it is necessary the employment of terrestrial methods of angular and linear measurement with Total Station, for the determination of intervisible points in areas which are unable to receive GPS satellite signals. Such areas are frequent in urban Brazilian environments. For territorial management and planning, it is necessary that the urban territorial areas are georeferenced to a unique Geodesic System of Reference and that they are therefore suitable for the conditions of neighborhood principle. This involves the determination of the positional accuracy of a point from the precision of neighboring points. In this context, it was implemented at UFPE campus a set of field of reference points of stable nature, measured by GPS technology using the following methods: static and “stop-and-go”, as well as, Total Station. The field of object-points was determined by triple and simultaneous irradiation. Afterwards, data of these terrestrial measurements were used for calculus with the spatial intersection method. Both the field of reference points and the field of object-points had their coordinates adjusted by the Least Square through Parametric Adjustment Method at a 95% significance level. Once the experiments were fulfilled and tested, in the campus, it was implanted in Olinda Historical Site another set of field of reference points that was measured by means of GPS technology applying the static method; and Total Station using the traversing method. The field of object-points was determined by double irradiation and intersection method. In this way, this research aims to test viable methodologies in the urban register survey in order to deal with the neighboring principle, searching thus criteria and positioning tolerance suitable for implantation and densification of geodesic structures which define field of reference points and fields of object-points. The latter one is understood as points of limit of territorial parcels.

**Keywords:** Urban Register Surveys, Field of Reference Points, Field of Object-points, GPS, Total Station, Terrestrial Methods of Measurement, Geodesic Structures.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente os levantamentos cadastrais vêm sendo bastante discutidos por especialistas do cadastro, especialmente com relação ao problema do princípio de vizinhança, sendo este uma regra básica da Geodésia, em que a cada novo ponto determinado deve ser relacionado a outros pontos de hierarquia superior em termos de precisão. Dessa forma, estão sendo estudadas novas metodologias ou adequações das já existentes no levantamento cadastral, para atender este princípio. Com este problema buscaram-se critérios, tolerâncias e configurações adequadas para a implantação e

densificação de estruturas geodésicas, que possam servir como pontos de referência (controle) assim como critérios e tolerâncias posicionais para o levantamento cadastral, definidor de pontos-objeto (pontos limites e pontos de detalhes).

No Cadastro Imobiliário Brasileiro, as informações sobre limites e feições dos imóveis, na maioria das situações, são derivadas de dois tipos de levantamentos: topográficos e fotogramétricos, ambos com características próprias. Outros fatores que influenciam na qualidade posicional dos pontos de limites de propriedades referem-se à inexistência tanto de pontos densificados pertencentes a um único

Sistema de Referência como de procedimentos específicos nacionais para o Cadastro Técnico Urbano, que associe a descrição legal do limite com a definição geométrica do limite do imóvel vizinho.

O levantamento cadastral é um levantamento especial, pois possui funções que extrapolam a característica técnica e envolvem questões legais. Normas específicas de levantamento são seguidas para as aplicações cadastrais.

Essa demanda vem crescendo nos últimos anos, com a regulamentação de Leis e a criação de Normas para atendê-las, como por exemplo: a Lei Federal 10.267, aplicada ao Cadastro Rural, com a Norma de Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA; a NBR 14.166 – Redes de Referência Cadastral Municipal. Quanto ao Cadastro Urbano, o Ministério das Cidades, em 2007, instituiu um grupo de pesquisadores para a criação de uma norma específica para esse fim.

O emprego dos métodos precisos de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) está alterando a forma de gestão dos órgãos em relação aos levantamentos cadastrais e de coleta de dados, com uma diversidade de métodos de levantamento GNSS, em particular do NAVSTAR GPS (*Navigation System With Time and Ranging – Global Positioning System*). Entre eles, cita-se: o Estático, o Estático Rápido, o “stop-and-go” e o RTK (*Real Time Kinematics*). Este último com aplicação em tempo real, trabalha com técnicas de resolução de ambiguidades OTF (*On The Fly*) (SEEBER, 2003) e (MONICO, 2008).

Essa tecnologia possibilita medir inúmeros pontos em curto intervalo de tempo. Nem sempre é possível cumprir todas as tarefas de posicionamento, devido a eventuais perdas de sinais por obstruções que possam existir nos locais de interesse. Por isso, torna-se necessária a integração com o emprego de métodos terrestres de medição angulares e lineares com Estação Total, para determinação de pontos intervisíveis em áreas impossibilitadas de receber os sinais dos satélites GPS; áreas essas frequentes em ambientes urbanos.

Uma possibilidade para solucionar a problemática dos fatores que afetam a qualidade posicional de pontos de referência e dos pontos-objeto no cadastro é a correta aplicação dos métodos de posicionamento GPS e das correções dos elementos de calibração.

No contexto desse trabalho foram abordados os métodos de posicionamento GPS Estático e

Semicinemático (“stop-and-go”) e os métodos terrestres de medição com Estação Total denominados de interseção a vante, interseção a ré, poligonação, irradiação e redes por triangulateração com aplicações voltadas para o Cadastro Urbano. Os métodos terrestres de medição foram empregados em situações em que as condições de rastreamento do GPS se mostraram críticas (geometria “pobre”, multicaminho e perdas de sinais). Os campos de pontos que se caracterizam com esta problemática foram solucionados por observações de pontos excêntricos a eles.

Uma das áreas de estudo foi em Recife no *campus* da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), na qual se implantou um campo de pontos de referência, para o estudo dos métodos de medição e determinação de pontos-objeto (cf. item 5.2). Outro teste realizado foi no Sítio Histórico da Cidade de Olinda – PE, com um conjunto de campo de pontos de referência e um conjunto de campo de pontos-objeto (cf. item 5.3). A adoção das duas áreas testes justifica-se pelo interesse em verificar o comportamento das precisões das medições do campo de pontos de referência e objeto, resultantes da aplicação dos métodos de levantamento adotados, em uma área aparentemente sem obstruções e a outra com a presença acentuada de edificações prediais.

A pesquisa seguiu recomendações das Normas Nacionais de Levantamento Topográfico NBR 13.133/1994 – Execução de Levantamentos Topográficos; NBR 14.166/1998 – Implantação de Redes de Referência Cadastral Municipal; Normas para Levantamento GPS (IBGE, 1998), e também, a Norma Internacional (USDA e USDI, 2001) – “*Standards and Guidelines for Cadastral Surveying Using Global Positioning System Methods*”. A adoção da ICMS justifica-se pelo fato desta fornecer procedimentos e padrões de precisão aceitáveis para o Cadastro Urbano Internacional.

Este trabalho vem contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia propícia para alcançar acurácia e métodos adequados para execução de levantamentos cadastrais, no que concerne ao estabelecimento de pontos de referência e determinação de pontos-objeto, em ambientes urbanos edificados, uma vez que o Brasil não dispõe de uma norma específica para o Cadastro Urbano, que determine quais métodos de levantamento, instrumentação e tolerância posicional são exigidos. Como consequência deve fornecer

subsídios ao planejamento e gerenciamento territorial de cidades, com a redução dos custos e tempo de execução dos levantamentos.

## **2. ESTRUTURAS GEODÉSICAS DE GEORREFERENCIAMENTO PARA O CADASTRO DE PARCELAS TERRITORIAIS URBANAS**

Em (GAMA, 2008) são abordadas as normas vigentes no Brasil que enquadram a execução de levantamentos cadastrais, no que diz respeito ao posicionamento de parcelas territoriais urbanas, trazendo a relevância das estruturas geodésicas de georreferenciamento. Descreve, além disso, a interligação destas estruturas com o imóvel urbano (parcela territorial urbana), abordando a integração de levantamentos por GPS e/ou Sistemas de Medição à base de Teodolitos (Estação Total), assim como a transformação de coordenadas entre Sistemas de Referência distintos.

Vários países dispõem de normas específicas para atividades que envolvem levantamentos cadastrais, estabelecendo métodos de levantamento e padrões de precisão aceitáveis para as mensurações relacionadas à definição de limites de parcelas territoriais urbanas. Ao contrário destes, no Brasil, ainda não existe uma norma específica para esse fim, existindo apenas normas que fixam condições exigíveis para execução de Levantamentos Topográficos (NBR 13.133/1994). Implantação de Rede de Referência Cadastral (NBR 14.166/1998) e Execução de Levantamento Planimétrico e Cadastral de Imóvel Urbanizado com área até 25000m<sup>2</sup>, para fins de estudos, projetos e edificações (NBR 14.465/2001). Todas estas normas citadas são da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e tratam de levantamento no geral. Em (GAMA e DE SEIXAS, 2008) e (GAMA et al., 2007) discute-se a normatização referente ao cadastro vigente no Brasil.

O conceito de otimização de redes está intimamente ligado à configuração de pontos e à hierarquia das medições em redes otimizadas e conceitos básicos para o desenho (projeto). A qualidade de uma rede é definida, em geral, através dos seguintes critérios: precisão, confiabilidade, sensibilidade e custo (GRAFAREND, 1974), (NIEMEIER, 1985), (NIEMEIER, 2002).

Junto à forma clássica de determinação de redes por meio de campanhas de medição, o GPS

oferece a possibilidade de ocupar permanentemente e temporariamente pontos de medição. O conjunto de campo de pontos, cujos dados de medição são enviados continuamente, constitui uma rede ativa. Esta permite a determinação de novos pontos, sem precisar ocupar os pontos desta rede com instrumentos de medição GPS. Resultando assim, na possibilidade da utilização simultânea dos pontos desta rede por uma quantidade grande e indefinida de usuários (MOESER et al., 2000). No Brasil, encontra-se disponível a Rede GPS ativa Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

A estrutura geodésica para o Cadastro Urbano advém de várias técnicas e metodologias de implantação de redes de pontos de referência para diversas finalidades. Estas estruturas são geograficamente bem distribuídas, destinadas neste trabalho ao posicionamento bidimensional. O estabelecimento e densificação das mesmas para o Cadastro Urbano justificam-se pelo posicionamento geodésico, de forma precisa e exata de parcelas territoriais situadas sobre a superfície terrestre e pela necessidade da elaboração de plantas topográficas cadastrais, para fins de planejamento, gerenciamento territorial e tributação.

Em (GAMA, 2008), (BOTELHO, 2003), (FERREIRA et al., 2004), (BONIFÁCIO e DE SEIXAS, 2007), (SANTOS JÚNIOR, 2005), (MONICO e SILVA, 2003), (DE SEIXAS e BURITY, 2005), (KAHMEN, 2005), (SANTOS, 1999), dentre outras literaturas, são abordadas as estruturas geodésicas para o cadastro e engenharia.

## **3. MÉTODOS DE LEVANTAMENTO APLICADOS AO CADASTRO DE PARCELAS TERRITORIAIS URBANAS**

Em (GAMA, 2008) é abordado o estado da arte dos métodos de medição aplicados a levantamentos cadastrais, iniciando-se pelos métodos topográficos convencionais aplicados na Antiguidade até o surgimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS). Aborda, também, a importância do GPS para o cadastro e seus métodos adotados neste artigo para o posicionamento de pontos de referência e pontos-objeto no levantamento de parcelas territoriais urbanas, além de definir os métodos de levantamentos topográficos aqui empregados. Este artigo advém da pesquisa desenvolvida na dissertação de mestrado de (GAMA, 2008).

Por causa da alta exatidão e o curto tempo de observação, o GPS pode ser empregado economicamente para levantamentos de detalhes em áreas rural e urbana. As principais áreas de aplicação estão relacionadas com a instalação ou manutenção de Cadastro Multifinalitário ou Sistemas de Informações Geográficas (SEEBER, 2003).

Um grande problema no levantamento cadastral com GPS é a perda de sinal causada pelas edificações, árvores, torres, pontes, entre outras. Esta é a razão exclusiva porque o emprego do GPS no levantamento cadastral está restrito para áreas com essas características. Com a presença de tais obstruções, o GPS será empregado principalmente para determinar os pontos de estação ocupados por taqueômetros eletrônicos (Estações Totais) ou outros instrumentos convencionais utilizados em levantamentos (SEEBER, 2003).

Em áreas urbanas abertas, com ruas largas, prédios baixos e vegetação baixa, podem ser usados métodos, entre os quais, podem-se citar o estático e os métodos rápidos, o “*stop-and-go*” e em particular a técnica RTK; esta última conforme Monico (2008).

Ao posicionamento relativo são atribuídos vários métodos, entre os quais, podem-se citar os métodos estático e “*stop-and-go*”. Maiores informações com relação a esses métodos são adquiridas nas seguintes referências bibliográficas: (SEEBER, 2003), (MONICO, 2008), (LEICK, 1995), (SEGANTINE, 2002) e (HOFMANN-WELLENHOF et AL., 2001). As especificações e normas gerais para levantamentos GPS do IBGE, Resolução PR 22, de 21-07-83, fazem referência a estes métodos de levantamento e fixam as condições exigíveis aplicadas a todos os levantamentos com GPS no Brasil.

No levantamento cadastral de parcelas territoriais urbanas, envolvendo métodos do GPS, um fator indispensável é a resolução do vetor das ambiguidades, em especial, tratando-se de levantamento cinemático. Esse assunto é tratado na tese de doutorado desenvolvida por (GARNÉS, 2001) e (MORUJÃO, 2009), assim como em (TEUNISSEN et al., 1997) e (TEUNISSEN et al., 2002).

No Cadastro Urbano, em áreas densamente ocupadas, um fator desfavorável quanto ao emprego do GPS são as perdas dos sinais GPS. Uma solução viável para trabalhos desenvolvidos nestas áreas,

que apresentam estas características, é a combinação das medições GPS e as medições terrestres com Estação Total.

#### **4. PRINCÍPIO DE VIZINHANÇA NAS MEDIÇÕES GEODÉSICAS**

A NBR 13.133 descreve no item 3.35, p.4, o Princípio de Vizinhança como uma “Regra Básica da Geodésia Aplicada à Topografia”. Esta regra retrata que cada ponto novo deve ser determinado, para que haja uma otimização da distribuição dos erros. Ela estabelece que cada ponto novo determinado deve ser amarrado ou relacionado a todos os pontos já determinados, para que haja uma otimização da distribuição dos erros. É importante a hierarquização, em termos de exatidão dos pontos nos levantamentos topográficos, pois cada ponto novo determinado tem exatidão sempre inferior aos dos que serviram de base à sua determinação, não importando o grau de precisão desta determinação.

A definição do Princípio da Vizinhança pela ABNT evidencia a inferior qualidade posicional dos pontos novos de um levantamento em relação aos pontos que serviram de amarração. Essa condição, no entanto, não foi considerada neste artigo uma vez que o Princípio da Vizinhança deve ser entendido como o procedimento que garante a homogeneidade do levantamento. Essa homogeneidade conforme Brandão (2003) ocorre quando os pontos pertencentes ao levantamento apresentam as mesmas tensões geométricas. Ou seja, quando as posições de todos os pontos do levantamento são determinadas com um valor de precisão posicional abaixo do limite especificado por uma tolerância posicional pré-definida. As posições e as respectivas precisões posicionais são resultados do ajustamento e, portanto podem ser comprovadas estatisticamente.

Os pontos limites de propriedades e os pontos limites de edificações, conforme Romão et al. (1996), “devem ser conectados a uma estrutura geodésica de referência materializada no terreno, de forma hierarquizada até o nível de referência, constituindo-se na rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM)”. Os pontos de limites de propriedade devem atingir precisão de que variam de  $\pm 3$  a 5cm relativa aos pontos tomados como referência.

Para atender ao Princípio de Vizinhança, o levantamento cadastral deve ser conduzido

considerando que as medições dos limites de parcelas territoriais sejam realizadas com observações independentes. Ou seja, cada ponto de limite da parcela deve ser medido, pelo menos por duas formas distintas. Outro fato importante para garantir este princípio é o ajustamento conjunto dos pontos da rede de referência e os pontos definidores do limite de parcelas territoriais. Esse ajustamento conjunto é necessário para garantir a homogeneidade dos resultados do levantamento (BRANDÃO, 2003). Cabe salientar que esse procedimento na prática dos levantamentos cadastrais de pontos de limites de edificações urbanas no Brasil não é ainda considerado.

A definição de um valor ou de valores para precisão posicional dos limites, conforme Carneiro (2002), implica em estabelecer a qualidade geométrica na identificação do imóvel.

No âmbito do Cadastro Imobiliário Urbano executado no Brasil não existe uma definição para acurácia posicional dos pontos definidores dos limites do imóvel. Alguns estudos foram realizados com o objetivo de definir uma acurácia posicional para o cadastro urbano no Brasil, entre os quais podem ser citados: ROMÃO (1996), avaliando o efeito das redes geodésicas para o cadastro, mostrou a possibilidade de determinar limites de propriedades com precisão em torno de 10 cm; ROCHA (1994) apresenta o valor de 10 cm como fruto da propagação dos erros ocasionados no processo de demarcação de loteamentos e parcelamento de propriedades urbanas; ROCHA & BRANBÃO (1999) apresentam um valor de 7,5 cm na propagação dos erros envolvidos na determinação dos pontos de limites do imóvel, partindo-se da rede de referência geodésica e passando pela Rede de Referência Cadastral Municipal e pela rede de levantamento para atingir o ponto de detalhe.

Neste trabalho, o método de ajustamento adotado para as medições cadastrais foi o paramétrico (também chamado de modelo das equações de observação), que utiliza o princípio dos Mínimos Quadrados que se processa quando é desejável estimar grandezas que se vinculam às observações às quais são denominadas de parâmetros. A seguir é realizada uma síntese do método de ajustamento paramétrico. Para maiores informações consultar DALMOLIM (2002),

GEMAEL (1994), MONICO (2000), (WOLF; GHILANI, 1996) e (NIEMEIER, 2002).

## 5. EXPERIMENTOS E ANÁLISES METODOLÓGICAS DO DESEMPENHO DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS DE REFERÊNCIA E DO OBJETO

Neste item, apresentam-se a metodologia adotada nos experimentos e as análises dos seus resultados, os quais foram realizados em duas áreas testes distintas, Área Teste 1 e Área Teste 2. Nelas foi posicionado um campo de pontos de referência aplicando-se o método de posicionamento com GPS e Estação Total e um campo de pontos-objeto com Estação Total para a densificação de uma malha de georreferenciamento e a definição de limites de parcelas territoriais urbanas. A seguir serão apresentados a descrição dos materiais e métodos empregados, as características das Áreas Testes, assim como os resultados e análises dos experimentos realizados.

### 5.1 Métodos e Materiais

O desenvolvimento do trabalho segue no fluxograma apresentado na Figura 1.

Inicialmente, realizou-se o levantamento relativo com o método de posicionamento GPS estático, tanto na Área Teste 1, quanto na Área Teste 2, com o objetivo de obter as coordenadas precisas do campo de pontos de referência. As coordenadas determinadas com o método de posicionamento relativo estático serviram de base e comparativo para as coordenadas obtidas pelos métodos terrestres de medição com Estação Total, método da interseção a vante, método da interseção a ré, método de redes (triangulação), interseção a vante e a ré, poligonação e irradiação.

Os métodos realizados com o emprego da Estação Total e utilizados nesta pesquisa estão descritos em (KAHMEN, 2005).

As coordenadas obtidas com o método relativo de posicionamento estático, também serviram como comparativo para as coordenadas obtidas com o método relativo de posicionamento “*stop-and-go*”. A determinação do campo de pontos-objeto foi realizada por meio dos métodos terrestres de medição com o emprego de Estação Total, considerando as coordenadas obtidas do campo de pontos de referência tanto com GPS, quanto com Estação Total. Para a comparação das coordenadas em um único sistema de referência

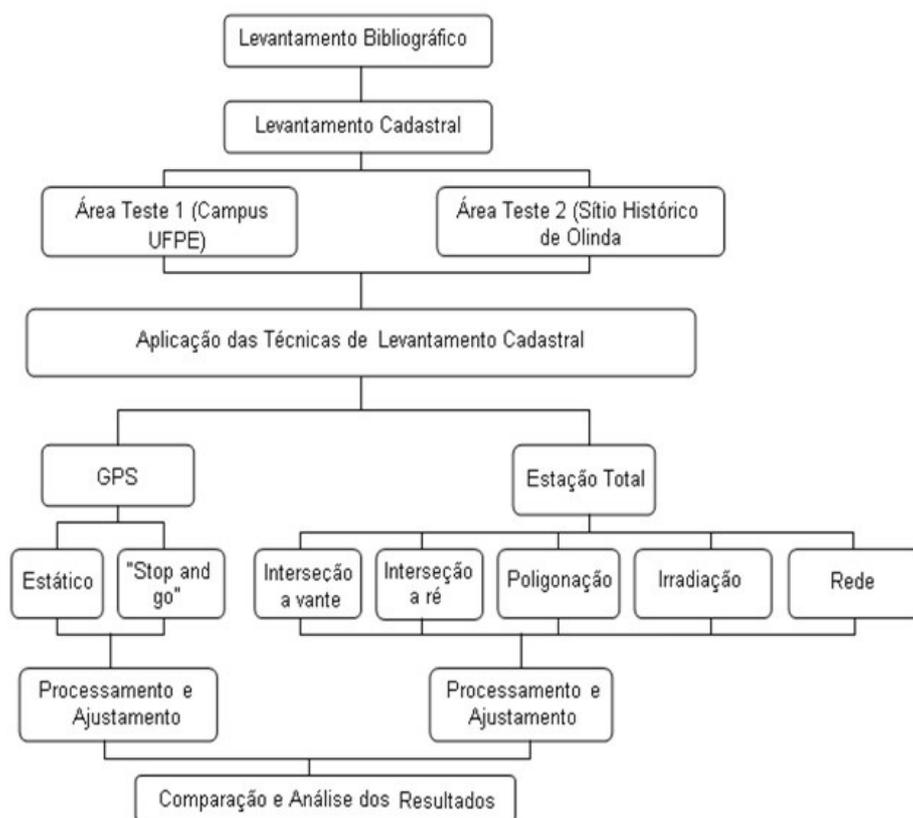


Fig. 1 – Fluxograma da metodologia adotada.

foram determinados parâmetros para a passagem do Sistema de Coordenadas Local definido pela Estação Total para o Sistema de Coordenadas do GPS.

As análises são realizadas com enfoque na avaliação do desempenho de estruturas geodésicas realizadas pelos métodos citados acima, considerando o nível de obstrução das estações, comprimento de linhas de base e tipo de observável utilizada.

O indicador de precisão utilizado na realização do levantamento cadastral para os métodos de levantamento do Sistema GPS e com Estação Total obedeceu ao nível de confiança de 95%.

Os equipamentos empregados para aquisição de dados no campo e os *softwares* utilizados nos processamentos e ajustamentos das observações geodésicas, na realização do levantamento cadastral urbano, foram: receptores geodésicos de dupla frequência da marca Rascal (as especificações segundo o manual do fabricante da Rascal são: para o método estático com 30 min de ocupação e 6 satélites, a precisão horizontal é 5 mm + 1ppm; e para levantamento cinemático a precisão horizontal

é 10mm + 1ppm com taxa de ocupação de 1 s); receptores geodésicos Trimble modelo 4000SST de dupla frequência (conforme o manual do fabricante do receptor Trimble 4000SST, para um período de rastreamento de 60 min e no mínimo 4 satélites a precisão para linha de base observada é de 10 mm + 2 ppm); Estação Total Trimble DR – série 3305 (segundo o manual do fabricante desta Estação Total, as precisões angular e linear são, respectivamente, 5" e 5 mm ± 5ppm); *Softwares* (GrafNet, TGO, TopoGraph e Adjust); aplicativos desenvolvidos em planilhas Excel.

A seguir é feita a descrição das áreas testes.

## 5.2 Levantamento Cadastral Urbano da Área Teste 1 – Campus UFPE

Com localização concêntrica ao *campus* da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a Área Teste 1 é composta por uma Quadra “non aedificandi”. Essa área situa-se nas proximidades do prédio da Biblioteca Central e do Centro de Convenções (Figura 2) e contempla um conjunto de campo de pontos de referência geodésicos e topográficos (EC04, P1, P2, P3, P4 e P5) e um



Fig. 2 – Campo de pontos de referência e objeto da Área Teste 1.

campo de pontos-objeto (vértices externos da sigla UFPE).

A justificativa para adoção da área teste em questão é a de analisar os fatores que influenciam na qualidade posicional de estruturas geodésicas situadas a curta distância das estações de referência em uma área isenta de obstruções, para posterior aplicação em uma área totalmente edificada.

O processamento e ajustamento dos dados GPS do campo de pontos de referência foram conduzidos aplicando-se dois programas comerciais: GrafiNet e TGO. A seguir serão abordados os experimentos realizados na Área Teste 1.

### 5.2.1 Levantamento do Campo de Pontos de Referência com GPS

Um fator essencial que antecedeu a fase de execução do levantamento foi o planejamento de campo visando o reconhecimento da área de trabalho e localização dos pontos que compõem o campo de pontos de referência. As coordenadas geodésicas do campo de pontos de referência (Figura 2) foram determinadas a partir das estações RECF e UFPE, que integram o SGB e a partir de uma estação da Rede de Referência Cadastral (MENDONÇA et al., 2010) EPS03, na época em fase de densificação.

A estação RECF integra a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Rede ativa

GPS brasileira de primeira ordem (hierarquia 1) e encontra-se situada no topo do prédio da Biblioteca Central da UFPE.

A estação UFPE localiza-se no topo do prédio administrativo do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco e pertence à Rede Geodésica de 1º ordem do IBGE. Apesar de essa estação ser classificada como vértice de primeira ordem, suas coordenadas geodésicas apresentam desvios padrões com valores elevados. Diante desse fato, a estação UFPE foi ocupada por GPS, com o objetivo de melhorar a qualidade posicional de suas coordenadas.

A Estação de Referência EPS03 integra a atual Rede de Referência Cadastral da UFPE. Cabe salientar que esta estação ainda não foi homologada pelo IBGE e teve suas coordenadas determinadas nesta pesquisa.

A adoção da estação de referência EPS03 é justificada, primeiramente, pela descontinuidade no fornecimento dos dados GPS da estação RECF, pelo IBGE, constatada em dezembro e janeiro de 2007. Período esse de realização das campanhas GPS, uma vez que o desenvolvimento desta pesquisa requer que o levantamento cadastral do campo de pontos geodésicos de referência seja referenciado a duas estações de referência de primeira ordem, para que se tenha um valor posicional mais provável

do campo de pontos de referência para o levantamento cadastral dos pontos-objeto da parcela territorial urbana.

Outra justificativa para o emprego da estação de referência EPS03 deve-se ao fato do campo de pontos de referência necessitar ser determinado aplicando-se, também, o método de posicionamento relativo semicinemático “*stop-and-go*”. Utilizando estações da RBMC, o posicionamento de pontos pelo método “*stop-and-go*” não é possível com uma taxa de gravação de 15 segundos, pois o tempo recomendado pelo manual do fabricante do receptor GPS da Rascal é de 5 s. Os dados das estações da RBMC são fornecidos pelo IBGE com uma taxa de gravação de 15 s. Por esse motivo houve a necessidade de ocupar a estação EPS03 como referência na realização do levantamento.

As coordenadas geodésicas da estação de referência UFPE e EPS03 em SIRGAS 2000 foram determinadas neste trabalho, a partir da estação de referência RECF, aplicando o método relativo de posicionamento estático, com uma taxa de gravação de 15 s, máscara de elevação de 15° e tempo de rastreamento de 2 h. O processamento e ajustamento dos dados GPS foram executados no *software* GrafiNet aplicando a portadora L1 devido ao pequeno comprimento dos vetores linhas de base, cuja distribuição geométrica, assim como as coordenadas das estações de referência em SIRGAS 2000 são mostradas em (GAMA, 2008).

### 5.2.1.1 Método de Posicionamento Relativo Estático

As campanhas GPS, para o georreferenciamento do campo de pontos de referência (Figura 2), foram realizadas nos dias 19 de dezembro de 2007 ocupando a estação de referência UFPE; e 28 de janeiro de 2008, considerando as estações de referência RECF e EPS03. Para a primeira campanha, almejava-se o rastreamento simultâneo entre as estações de referência RECF e UFPE, mas os dados da Estação RECF não foram disponibilizados pelo IBGE.

O campo de pontos de referência possui duas hierarquias e foram utilizados como referência para a determinação do campo de pontos-objeto determinados pelos métodos terrestres de medição: interseção a vante e irradiação.

As duas hierarquias de campo de pontos de referência foram estabelecidas na Área Teste 1. A

primeira foi realizada pelas estações UFPE, RECF e EPS03, e a segunda pelos pontos (EC04, P1, P2, P3 e P4).

As observações GPS foram conduzidas utilizando-se receptores geodésicos L1/L2: 2 receptores 4000SST da TRIMBLE e 2 receptores da marca Rascal, adotando os seguintes requisitos: máscara de elevação de 15°, taxa de gravação para a coleta dos dados GPS de 15 segundos e tempo mínimo de ocupação em cada ponto. O tempo mínimo e máximo de rastreamento, respectivamente, foi de 00:49:30 h e 2:31:31 h. As antenas dos receptores foram posicionadas sobre os vértices utilizando tripés e bases nivelantes. As antenas foram aproximadamente orientadas para o norte geográfico, para minimizar erro de orientação, e as alturas das antenas foram medidas no início e no fim de cada ponto observado. O sistema de referência utilizado na coleta de dados GPS foi o WGS-84. Porém, as coordenadas dos vértices de interesse foram processadas em SIRGAS 2000.

Em virtude do curto comprimento das linhas de base, formadas pelos vértices do campo de pontos de referência, que varia entre 51,708 m (mínimo) e 645,477 m (máximo), os efeitos atmosféricos nessas linhas são considerados praticamente os mesmos em todas as estações de rastreamento. Por esta razão, utilizou-se no processamento apenas a observável L1 de acordo com literaturas existentes, por exemplo, (MONICO, 2000). Na fase de processamento todas as linhas de base foram processadas em L1 e obtiveram solução “fixada”.

A obtenção das coordenadas do campo de pontos de referência, utilizando os *softwares* GrafiNet e TGO, foram obtidas considerando como referência primeiramente as estações de RECF e EPS03 com processamento simultâneo. Logo em seguida, com estações de referência individuais RECF, UFPE e por fim EPS03.

O *software* TGO em detrimento ao GrafiNet expressa no relatório de ajustamento de Rede, a visualização e os valores das elipses de erro a um nível de confiança de 95%. Em (GAMA, 2008) estão apresentados o processamento e ajustamento, assim como as comparações dos resultados obtidos nos *softwares* GrafiNet e TGO.

Em seguida serão apresentados (Tabela 1) os desvios padrões das coordenadas geodésicas provindos do processamento e ajustamento.

Tabela 1. Desvios padrões das coordenadas geodésicas em sirgas 2000 – estação de referência recf e eps03. Fonte: *software* Grafinet.

PONTO	$\sigma_e$ (m)	$\sigma_n$ (m)	$\sigma_u$ (m)
EC04	0,003	0,002	0,008
P1	0,002	0,002	0,002
P2	0,003	0,002	0,006
P3	0,003	0,003	0,012
P4	0,002	0,002	0,004

As coordenadas geodésicas resultantes do processamento e ajustamento adotando as estações de referência RECF e EPS03 com processamento simultâneo (*Software* GrafiNet) foram adotadas como verdadeiras nesse trabalho, para fins comparativos entre os demais métodos de levantamento aplicados neste trabalho.

### 5.2.1.2 Método de Posicionamento Relativo “*stop-and-go*”

O levantamento de campo sucedeu-se no dia 20 de dezembro de 2007. A campanha GPS foi conduzida utilizando receptores geodésicos Rascal contendo as portadoras L1/L2, programados com uma taxa de gravação no intervalo de tempo de 5 s e máscara de elevação de 15°, conforme recomenda o manual do fabricante.

A resolução foi procedida ocupando as linhas de base UFPE -EC04 e EPS03 - EC04, em rastreo simultâneo por um período de observação de 18 minutos, aplicando o método de posicionamento relativo estático. Após esse período de observação, os receptores que ocupavam as estações de coordenadas conhecidas (UFPE e EPS03) permaneceram imóveis e o receptor posicionado sobre a estação (EC04) foi deslocado para os pontos a determinar (P1, P2, P3 e P4).

Decorrido um período de 25 minutos, todos os vértices foram reocupados buscando alteração na geometria dos satélites para melhor resolução das ambiguidades. Conforme recomenda Mônico (2000), as duas coletas de dados nos pontos de interesse devem estar separadas por um período de tempo de 20 a 30 minutos. O tempo mínimo e máximo de ocupação em cada vértice foi, respectivamente, 00:05:30h e 00:07:15h.

Os dados foram processados utilizando-se o *software* GrafiNet, pois o mesmo possibilita

processamento e ajustamento de rede radial, o qual inclui redes observadas com o método “*stop-and-go*”, objeto de análise desta pesquisa. Foram adotadas as seguintes estratégias de processamento:

- Processamento com uma e duas ocupações adotando as estações de referência UFPE e EPS03 com processamento simultâneo;
- Processamento com uma e duas ocupações adotando somente a estação de referência UFPE;
- Processamento com uma e duas ocupações adotando somente a estação de referência EPS03.

Cabe salientar que os resultados das coordenadas planas retangulares UTM do campo de pontos de referência obtidas com o método estático, processados e ajustados no *software* GrafiNet serão confrontados com os resultados provenientes do método “*stop-and-go*”.

A estratégia de processamento com uma e duas ocupações adotando as estações de referência UFPE e EPS03 com processamento simultâneo, por exemplo, foi empregada objetivando adotar duas estações de referência para o método “*stop-and-go*”, como também fechar geometricamente os vetores de linhas de base com o propósito de obter melhores resultados. O tipo de observável empregada no processamento desta estratégia de processamento foi somente L1 e L1/L2. Os vetores formados pelas linhas de base UFPE e os vértices do campo de pontos de referência obtiveram melhores resultados utilizando a fase da portadora L1, enquanto que os vetores linhas de base formados entre a estação EPS03 e campo de pontos de referência foram solucionados em L1/L2.

A Tabela 2 apresenta os desvios padrões das coordenadas geodésicas em SIRGAS 2000.

A partir das coordenadas planas retangulares UTM, do campo de pontos de referência, advindas do método de posicionamento estático e o método de posicionamento “*stop-and-go*” processadas e ajustadas no *software* GrafiNet, considerando as estações de referência UFPE e EPS03 com uma e duas ocupações, foram calculadas as discrepâncias em Este (E) e em Norte (N) e suas resultantes planimétricas, para análise da viabilidade das estratégias adotadas no levantamento de campo utilizando o método “*stop-and-go*”.

Analisando os resultados, nota-se que as coordenadas planas retangulares UTM provenientes da aplicação do método “*stop-and-go*” com uma

Tabela 2a. Desvios padrões das coordenadas geodésicas em sirgas 2000. estação de referência ufpe e eps03 com uma ocupação. Fonte: Grafinet.

PONTO	$\sigma_{\varphi}$ (m)	$\sigma_{\lambda}$ (m)	$\sigma_{h(m)}$
EC04	0,003	0,003	0,0047
P1	0,003	0,003	0,0048
P2	0,003	0,003	0,0047
P3	0,004	0,008	0,011
P4	0,003	0,003	0,0046

Tabela 2b. Desvios padrões das coordenadas geodésicas em sirgas 2000. estação de referência ufpe e eps03 com duas ocupações. Fonte: Grafinet.

PONTO	$\sigma_{\varphi}$ (m)	$\sigma_{\lambda}$ (m)	$\sigma_{h(m)}$
EC04	0,002	0,002	0,0047
P1	0,003	0,002	0,005
P2	0,002	0,002	0,0047
P3	0,003	0,004	0,0122
P4	0,003	0,002	0,0044

ocupação, quando comparadas com as coordenadas resultantes do método de posicionamento estático, apresentam maior discrepância para o ponto P1 com valores de 0,149m para Este e 0,175m para Norte e resultante planimétrica de 0,23m. Quanto ao levantamento com o método “*stop- and-go*” com duas ocupações, nota-se que as maiores discrepâncias são visíveis para os vértices P1 com valores de 0,438m para Este e 0,188m para Norte com resultante planimétrica de 0,477m; para o ponto P3 os valores são de 0,171m para E e 0,161m para Norte e resultante planimétrica de 0,235m.

Os valores posicionais encontrados para os vértices P1 e P3 do campo de pontos de referência apresentam valores fora da tolerância posicional permitível na Legislação Brasileira, para levantamentos cadastrais urbanos que circundam em torno de 10 cm.

Analisando, no geral, as estratégias de processamento adotadas para o método “*stop-and-go*” nota-se que as estratégias com uma ocupação apresentam discrepâncias menores do que com duas ocupações para todas as estratégias de processamento adotadas. Isso significa que as mesmas estão mais próximas dos valores das coordenadas planas retangulares UTM encontradas

aplicando o método de posicionamento estático e da acurácia posicional recomendada para o posicionamento de limites de parcelas territoriais urbanos no Brasil. Então, conclui-se que a reocupação no campo de pontos de referência não trouxe nenhum benefício, satisfazendo uma única ocupação.

Contudo, em um levantamento cadastral urbano, quando se tem abundância observacional, várias estratégias de processamento podem ser aplicadas para que o melhor resultado venha a ser adotado, garantindo desta forma a homogeneidade do levantamento e o atendimento das condições do Princípio de Vizinhança.

### 5.2.2 Levantamento do Campo de Pontos de Referência com Estação Total

O levantamento no Sistema Topográfico Local do campo de pontos de referência, aplicando o método de redes, foi realizado em dias distintos: 30 de agosto de 2006, observando-se os vértices EC04, P1, P2 e P4; e 06 de setembro de 2006, quando foram observados os pontos P4, P2, P3 e EC04. As medições foram conduzidas utilizando-se uma Estação Total Trimble 3305 DR e um conjunto de dois prismas refletores posicionados sobre os tripés. A representação do campo de pontos de referência posicionados por métodos terrestres de medição é mostrada na Figura 3.

As observações de ângulos horizontais e verticais e distâncias inclinadas foram realizadas em

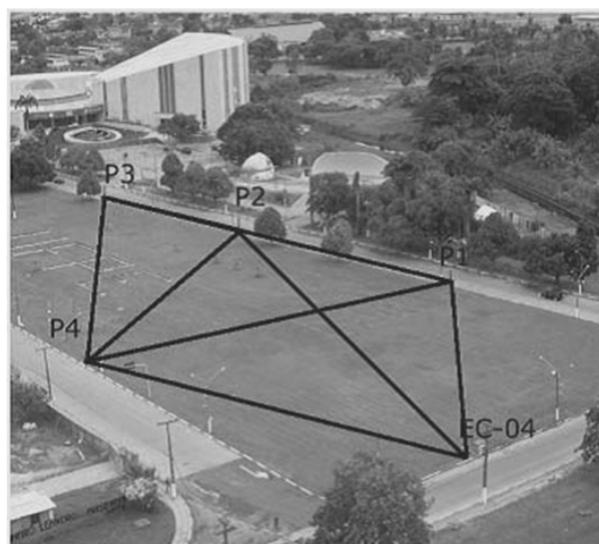


Fig. 3 – Representação do campo de pontos de referência e dos irradiamentos realizados em cada vértice adotado no trabalho.

seis séries com visadas conjugadas direta e inversa com dispositivo de centragem forçada em atendimento às especificações da NBR 13.133/1994 e NBR 14.166/98.

As distâncias horizontais foram calculadas em uma planilha elaborada no *software* Excel, aplicando-se a elas uma correção de - 0,035m a qual corresponde ao valor da constante aditiva programada na Estação Total, pré-determinada na base multipilar do laboratório de Metrologia e Posicionamento Espacial (LAMEP) da Área de Topografia da UFPE.

O levantamento cadastral no STL e no sistema UTM teve seus dados processados e ajustados aplicando os métodos terrestres da interseção a vante e interseção a ré, poligonação e redes.

### 5.2.3 Levantamento do Campo de Pontos-objeto com Estação Total

Para a demonstração da realização de integração de dados coletados com GPS e dados provindos de Estação Total foi realizado o levantamento dos vértices externos das letras que compõem a sigla UFPE, praticamente centralizada na quadra cadastral que compreende a Área Teste 1. A Figura 4 mostra a discretização do campo de pontos-objeto composto por 40 pontos.

O levantamento topográfico foi realizado com três Estações Totais Trimble 3305 DR. Os 40 pontos-objeto (vértices externos), da sigla UFPE representados na Figura 4, foram irradiados triplamente e simultaneamente (Figura 5) a partir do levantamento topográfico executado durante as aulas práticas da Disciplina de Topografia 1

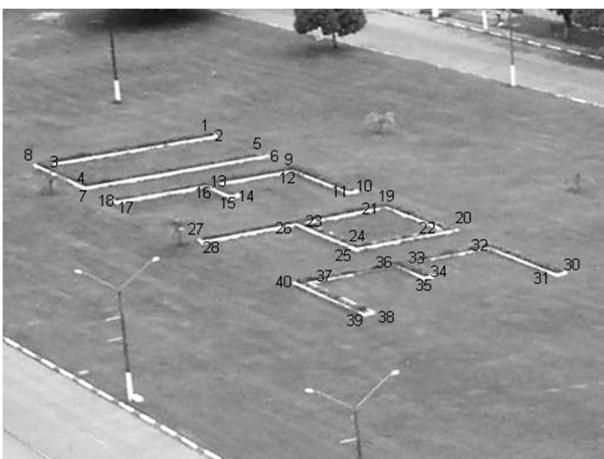


Fig. 4 – Representação do campo de pontos-objeto.

(2007.2), no qual foram executadas duas séries de leituras com visadas conjugadas direta e inversa. O levantamento foi realizado nos dias 13, 22 e 29 de dezembro de 2007.

Foram considerados como pontos de referência os vértices P4, P3 e P2. Uma Estação Total foi instalada sobre o ponto P3 com visada inicial para P2, enquanto outra Estação foi estacionada em P2 com visada inicial para P4. Outra Estação Total foi posicionada em P4 com visada para P3, sempre observando ângulos horizontais à direita e distâncias horizontais que posteriormente foram corrigidas aplicando a constante aditiva do prisma. A centralização dos pontos-objeto foi realizada empregando um bastão com nível de bolha.

### 5.3 Levantamento Cadastral Urbano da Área Teste 2 – Sítio Histórico de Olinda

Com localização excêntrica ao *campus* da UFPE, a Área Teste 2 é localizada na cidade de Olinda, Região Metropolitana do Recife. A área levantada é composta por uma quadra cadastral que integra o Sítio Histórico de Olinda, constituída por edificações históricas de uso residencial, situada na Rua Ladeira da Misericórdia, conforme mostra a Figura 6 (trecho retirado da ortofotocarta digitalizada na escala de 1:2000).

A exemplo do *campus* da UFPE, Olinda foi contemplada com a implantação e densificação de um campo de pontos de referência e um campo de pontos-objeto que serviram para posicionar os limites das parcelas territoriais urbanas da quadra cadastral.

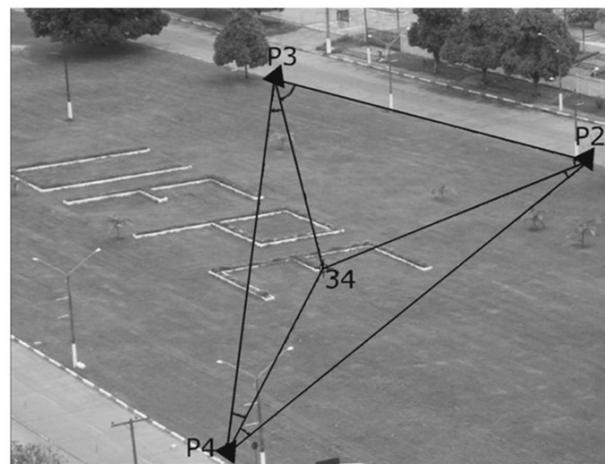


Fig. 5 – Geometria do método da interseção a vante do campo de pontos-objeto.

O campo de pontos de referência na Área Teste 2 (Figura 6) é de hierarquias distintas. Os vértices BVM, MR, IGRM e ART do campo de pontos de referência tiveram suas coordenadas geodésicas determinadas por GPS, aplicando o método de posicionamento relativo estático. Esses são de segunda hierarquia, pois foram determinados a partir de vértices de primeira ordem do SGB. O campo de pontos de referência secundário composto pelos pontos EB-105, Q-458, Q-62, Q-60 e Q-

483 foram determinados com Estação Total, a partir do campo de pontos de referência de segunda hierarquia, aplicando o método da poligonização com centragem forçada, desta forma os mesmos são de terceira hierarquia. O campo de pontos-objeto é composto por 9 pontos da fachada leste da quadra cadastral, e foram medidos por irradiação dupla a partir do campo de pontos de referência (Q-458 e Q-62).

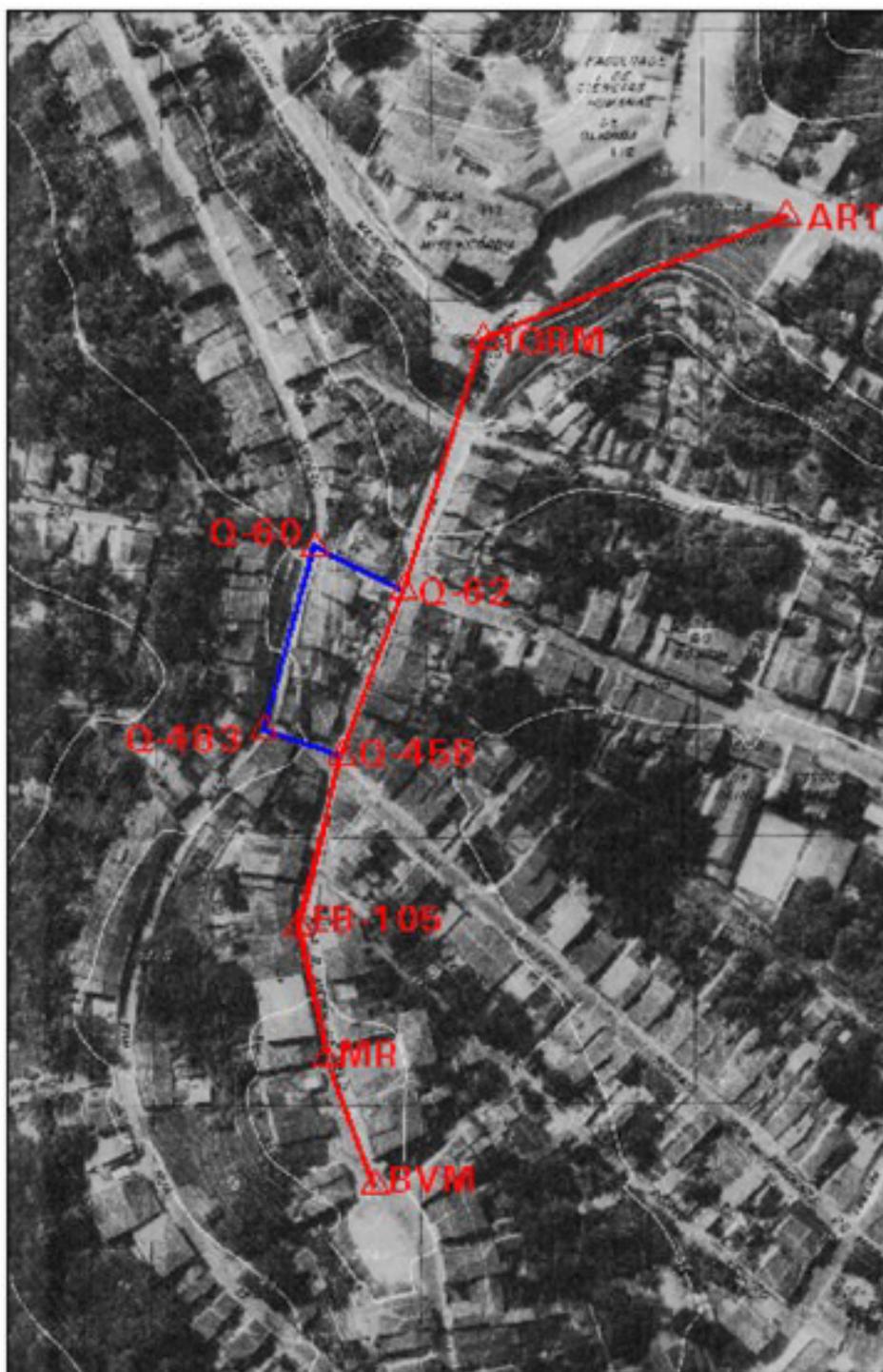


Fig. 6 – Localização da Área Teste 2 – Fonte: Ortofotocarta-FIDEM (1974).

### 5.3.1 Levantamento do Campo de Pontos de Referência com o Método de Posicionamento GPS Relativo Estático

As campanhas GPS para a determinação das coordenadas do campo de pontos de referência foram realizadas em 14 de dezembro de 2007, 11 e 16 de julho de 2008, e são classificadas como pontos de referência de segunda hierarquia.

A campanha GPS realizada em 14 de dezembro de 2007 foi conduzida ocupando os vértices do campo de pontos de referência BVM, MR, IGRM, utilizando 4 receptores geodésicos L1/L2, sendo 2 receptores Trimble e 2 Rascal, com um período de ocupação de 1h e 30 min para cada ponto. A campanha GPS realizada em 11 de julho de 2008 foi realizada com um período de ocupação de 1 h nos pontos BVM, MR, IGRM e ART, utilizando 3 receptores geodésicos L1/L2, 2 receptores Rascal e 1 Trimble. A campanha GPS realizada em 16 de julho foi conduzida com 2 receptores geodésicos L1/L2 Rascal e um período de observação de 1h, ocupando os pontos de referência IGRM e ART.

Todas as campanhas GPS foram conduzidas com uma taxa de rastreamento de dados nos receptores de 15 s e máscara de elevação de 15°. Cuidados foram tomados com relação às medidas das alturas das antenas, sendo as mesmas medidas no início e no final de cada ocupação e também com relação à orientação das antenas, a qual foi orientada sempre para o Norte Geográfico.

As estações geodésicas utilizadas como referência foram as estações RECF e UFPE em rastreamento simultâneo. A Figura 7 mostra a ocupação GPS no campo de pontos de referência.

O processamento e ajustamento dos dados coletados por GPS foram realizados no *software* GrafiNet. Devido à distância dos vértices do campo de pontos de referência não ultrapassarem 12 km das estações de referência, o processamento foi conduzido utilizando a fase da portadora L1.

O processamento e ajustamento dos dados da campanha GPS realizada em 14 de dezembro de 2007, foram feitos através do *software* GrafiNet, considerando a estação de referência UFPE. Quanto à estação RECF da RBMC, os dados



Fig. 7 – Ocupação GPS no campo de pontos de referência.

apresentaram problemas e não ofereceram condições de processamento.

Os dados da campanha GPS realizada em 11 e 16 de julho de 2008 foram processados e ajustados no *software* GrafiNet, considerando três estratégias de processamento. A exemplo da Área Teste 2, primeiramente as coordenadas dos vértices que compõem o campo de pontos de referência foram determinadas adotando como referência as estações RECF e UFPE com processamento simultâneo; em seguida somente a estação RECF e, por fim o processamento com apenas a estação UFPE. Todos os vetores linhas de base obtiveram solução “fixada”.

Em virtude da campanha GPS de 14 de dezembro de 2007 ter permitido processamento apenas adotando a estação de referência UFPE, somente as coordenadas planas retangulares do campo de pontos de referência de segunda ordem, provindas deste processamento, puderam ser comparadas com as coordenadas advindas do processamento e ajustamento dos dados GPS da campanha realizada em 11 e 16 de julho de 2008. As diferenças de coordenadas e suas respectivas resultantes planimétricas são mostradas na Tabela 3.

Analisando as discrepâncias presentes nas Tabelas 4a e 4b, constata-se que as coordenadas planas retangulares UTM do campo de pontos de referência, obtidas adotando como referência as estações RECF e UFPE no *software* GrafiNet, apresentam valores muito próximos das coordenadas planas retangulares adotando as estações de referência RECF e UFPE com processamento individual.

As coordenadas planas retangulares UTM, processadas e ajustadas no *software* GrafiNet, adotando as estações de referência RECF e UFPE com processamento simultâneo (Tabela 5), foram utilizadas para georreferenciar o campo de pontos

Tabela 3. Discrepância entre as coordenadas planas retangulares utm em sirgas 2000.

PONTO	ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA UFPE		
	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$	RESULTANTE PLANIMÉTRICA (m)
BVM	0,025	0,003	0,025
MR	0,019	0,023	0,03
IGRM	0,036	0,012	0,038

de referência determinado com Estação Total, uma vez que é exigido o georreferenciamento a partir de no mínimo dois pontos de coordenadas conhecidas.

### 5.3.2 Levantamento do Campo de Pontos de Referência com Estação Total pelo Método da Poligonização com Centragem Forçada

Os levantamentos das poligonais enquadrada e fechada atendem às especificações da NBR: 13133/1994, sendo as mesmas conforme as normas classificadas como poligonais de classe IIIP, ou melhor.

A poligonal enquadrada foi estabelecida para transportar as coordenadas, medidas por GPS, dos vértices BVM, MR, IGRM e ART (Figura 6) para

Tabela 4a. Discrepância entre as coordenadas planas retangulares utm em sirgas 2000.

PONTO	ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA RECF-UFPE E RECF		
	$\Delta E(M)$	$\Delta N(M)$	RES. PLANIMÉTRICA
BVM	0,006	0	0,006
MR	0,005	0,004	0,006
IGRM	0,005	0,002	0,005
ART	0,006	0,002	0,006

Tabela 4b. Discrepância entre as coordenadas planas retangulares utm em sirgas 2000.

PONTO	ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA RECF-UFPE E UFPE		
	$\Delta E(M)$	$\Delta N(M)$	RES. PLANIMÉTRICA
BVM	0,01	0,002	0,01
MR	0,008	0,003	0,008
IGRM	0,008	0,001	0,008
ART	0,009	0,001	0,009

Tabela 5. Desvios padrões das coordenadas geodésicas em sirgas 2000. Fonte: Grafinet.

PONTO	$\sigma_p$ (m)	$\sigma_n$ (m)	$\sigma_h$
BVM	0,0117	0,0105	0,0273
MR	0,0159	0,0106	0,032
IGRM	0,0109	0,0098	0,0248
ART	0,0111	0,009	0,0273

os pontos Q-458 e Q-68, situados em uma quadra edificada no Sítio Histórico de Olinda. A poligonal apoiada e enquadrada é assim formada pelos vértices BVM, MR, EB-105, Q-458, Q-62, IGRM e ART (Figura 8). Já a poligonal fechada é composta pelos vértices Q-458, Q-62, Q-60 e Q-483 (Figura 9). As coordenadas planas retangulares UTM dos vértices Q-458 e Q-62 foram utilizadas como referência para o transporte de coordenadas para os pontos Q-60 e Q-483.

O cálculo da média dos valores de ângulos e distâncias foi realizado em uma planilha elaborada no *software* Excel, sendo aplicado uma correção de - 0,035 cm (constante aditiva da Estação Total) para as distâncias horizontais. Devido à curta distância que separa os vértices do campo de pontos de referência observados por poligonização, constatou-se que as discrepâncias causadas pelos efeitos de curvatura terrestre são consideradas de valores desprezíveis.

Durante o processamento dos dados coletados com Estação Total foi detectado que o *software* TopoGRAPH, apesar de oferecer a opção de cálculo com ajustamento por MMQ, em seus relatórios não são mostrados os desvios padrões. Diante desse fato, foi conduzido um ajustamento das poligonais enquadrada e fechada no *software* ADJUST. As coordenadas planas retangulares UTM em SIRGAS 2000 da poligonal enquadrada ajustada no *software* ADJUST são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6a. Desvios padrões das coordenadas utm em sirgas 2000 provindos do ajustamento da poligonal (bvm, mr, eb-105, q-458, q-62, igrm e art).

PONTOS	DESVIO PADRÃO	
	$\sigma E(m)$	$\sigma N(m)$
EB-105	0,00037	0,00009
Q-458	0,00198	0,00062
Q-62	0,00265	0,00082

Tabela 6b. Elipses de erro provindas do ajustamento da poligonal.

PONTOS	ELIPSES DE ERRO		
	$\sigma U$	$\sigma W$	T
EB-105	0,00038	0,00006	79,98°
Q-458	0,00207	0,00013	107,05°
Q-62	0,00277	0,00006	107,23°

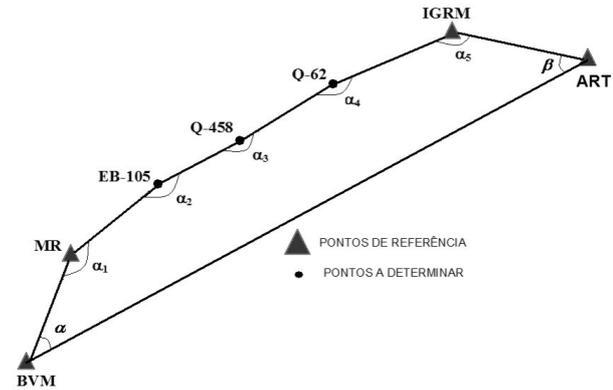


Fig. 8 – Poligonal apoiada e enquadrada.

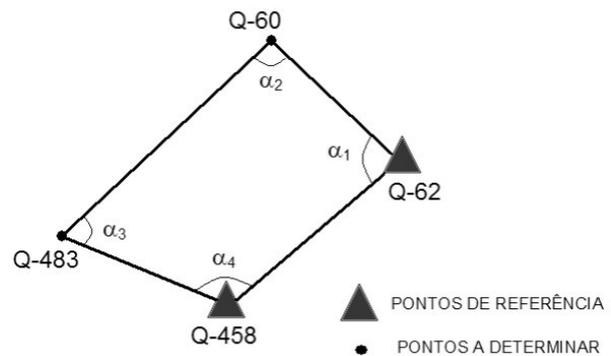


Fig. 9 – Poligonal fechada e apoiada.

Os desvios padrões das coordenadas planas retangulares UTM resultantes da poligonal fechada ajustada no *software* ADJUST são mostrados nas Tabelas 7a e 7b.

Tendo em vista as Tabelas 6 e 7, nota-se que os desvios padrões das coordenadas planas retangulares UTM apresentam valores inferiores a 2 mm, comprovando a qualidade do campo de pontos de referência determinados pelo método da poligonização.

A Tabela 8 mostra as precisões relativas e os erros de fechamento angulares e lineares para as poligonais apoiada e enquadrada, e fechada.

### 5.3.3 Levantamento do Campo de Pontos-objeto com Estação Total

O levantamento foi conduzido com uma Estação Total 3305 DR da Trimble e um prisma refletor acoplado a um bastão com nível de bolha. O campo de pontos-objeto foi medido com uma série de visada conjugada direta e inversa.

Tabela 7a. Desvios padrões das coordenadas planas retangulares utm em sirgas 2000 provindos do ajustamento da poligonal (q-458, q-62, q-60 e q-483).

PONTOS	DESVIO PADRÃO	
	$\sigma E$ (m)	$\sigma N$ (m)
Q-60	0,0008	0,0015
Q-483	0,0005	0,0016

Tabela 7b. Elipses de erro provindas do ajustamento da poligonal.

PONTOS	ELIPSES DE ERRO		
	$\sigma U$	$\sigma W$	T
Q-60	0,0017	0,0001	27,02°
Q-483	0,0016	0,0001	18,88°

Tabela 8. Precisões relativas e erros angulares e lineares das poligonais.

ERROS	POLIGONAL ENQUADRADA	POLIGONAL FECHADA
ANGULAR	0° 00'03,58 1"	0° 00'10,530"
LINEAR	0,0141(m)	0,0028(m)
RELATIVO	1:19995	1:72198

O campo de pontos-objeto é composto por 9 pontos de limites de parcelas territoriais urbanas, na Área Teste 2 no Sítio Histórico de Olinda (Figura 10), representados na escala 1:1000, localizados na fachada leste da quadra cadastral.

Os vértices Q-458 e Q-62 foram utilizados como referência para este levantamento. Os pontos-objeto foram irradiados duplamente e as coordenadas resultantes foram obtidas pela média das coordenadas. O *software* TopoGRAPH foi aplicado para os cálculos das coordenadas planas retangulares UTM em SIRGAS 2000 do campo de pontos-objeto.

O cálculo das coordenadas do campo de pontos-objeto também foi realizado aplicando a formulação matemática para interseção a vante, pois os pontos-objeto juntamente com os vértices de referência (Q-62 e Q-458) possibilitam a determinação dos pontos por este método. As coordenadas também foram apresentadas em SIRGAS 2000, a partir de uma planilha elaborada no Excel, específica para esse método.

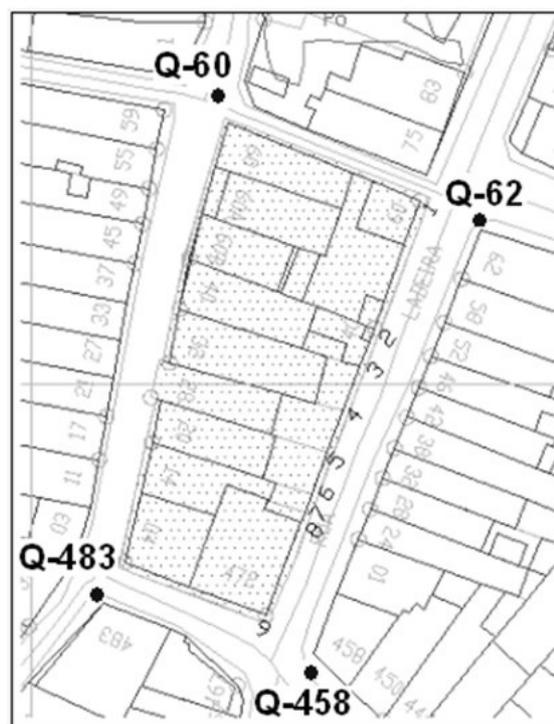


Fig. 10 – Representação do campo de pontos-objeto – Área Teste 2. Fonte: Projeto UNIBASE-FIDEM (1983).

Em levantamentos cadastrais urbanos, nem sempre é possível visualizar pontos de limites de parcelas urbanas, a partir de mais de dois pontos com coordenadas conhecidas, principalmente, tratando-se de quadras cadastrais edificadas. Como é o caso da quadra cadastral objeto de estudo dessa pesquisa, localizada no Sítio Histórico de Olinda, onde foi possível medir os pontos limites somente, a partir de dois pontos com coordenadas conhecidas, contrapondo o levantamento cadastral do campo de pontos-objeto realizado na Área Teste 1, onde cada ponto-objeto foi observado a partir de três pontos com coordenadas conhecidas. Por essa razão, o campo de pontos-objeto da Área Teste 2 não foi ajustado pelo MMQ, uma vez que, o modelo de ajustamento nesta pesquisa, requer que os pontos-objeto sejam observados a partir de três pontos com coordenadas conhecidas.

A partir das coordenadas planas retangulares UTM obtidas através da aplicação do método da irradiação e das coordenadas resultantes da aplicação do método da interseção a vante foram calculadas as discrepâncias entre as mesmas.

Analisando as mesmas, nota-se que os valores são inferiores a 10 cm, o que torna viável a aplicação de ambos os métodos na definição de limites de

parcelas territoriais urbanas. Uma sugestão para diminuir essas discrepâncias seria marcar os pontos de interesse, por exemplo, com giz, para que o bastão seja posicionado sempre no mesmo ponto ou observar os pontos de limites simultaneamente com duas Estações Totais estacionadas nos pontos de referência Q-458 e Q-62.

## 6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste artigo teve como objetivo analisar a precisão e acurácia posicional de estruturas geodésicas por meio dos métodos GPS integrados com métodos terrestres. O georreferenciamento de parcelas territoriais urbanas procedeu-se com base no Princípio de Vizinhança. A seguir estão ressaltadas as conclusões pertinentes.

### 6.1 Área Teste 1

As discrepâncias encontradas entre as coordenadas planas retangulares UTM do campo de pontos de referência da Área Teste 1, processadas e ajustadas nos *softwares* comerciais GrafiNet e TGO, são inferiores a 1cm, o que mostra que ambos os *softwares* são compatíveis.

Pode-se afirmar que o campo de pontos de referência determinado com GPS aplicando o método de posicionamento estático permite, em áreas urbanas abertas, como a área em questão, um alcance de precisão na ordem de milímetro.

O posicionamento do campo de pontos de referência aplicando o método “*stop-and-go*”, adotando duas estações de referência com processamento simultâneo formando linhas de bases com figuras geometricamente fechadas, apresenta desvios padrões inferiores a 1 cm, melhor do que com uma estação de referência, em levantamento cadastral urbano de áreas abertas.

Quanto às comparações envolvendo as estratégias de processamento dos métodos de posicionamento “*stop-and-go*” e estático (coordenadas planas retangulares UTM adotadas como verdadeiras), as menores discrepâncias de coordenadas planas retangulares UTM em SIRGAS 2000, foram resultantes da comparação realizada entre o método de posicionamento estático, e “*stop-and-go*” com uma ocupação. Contudo, uma segunda ocupação é desnecessária.

Tratando-se dos métodos de medição terrestre aplicados para determinação posicional do campo de pontos de referência da Área Teste 1, todos os métodos aplicados apresentam resultados

satisfatórios. Mas as menores discrepâncias de coordenadas planas retangulares UTM são resultantes da comparação realizada entre o método de redes e o método de posicionamento relativo estático, com valores inferiores a 2,6cm, significando que as coordenadas planas retangulares UTM, obtidas aplicando o método de redes, estão mais próximas das coordenadas planas retangulares UTM, determinadas por GPS, aplicando o método de posicionamento relativo estático.

O campo de pontos-objeto determinados aplicando os métodos da interseção a vante e irradiação dupla apresentaram resultados confiáveis. Os pontos de limites de parcelas territoriais urbanas, georreferenciados a partir de três pontos de referência, aplicando o método da interseção a vante, apresentaram precisões planimétricas com valores inferiores a 7,3cm, valor da incerteza adequado para o posicionamento de limites de parcelas territoriais no Brasil. O método da irradiação dupla, quando comparando às coordenadas obtidas por interseção a vante, mostra discrepância de coordenadas consideráveis para a maioria dos pontos.

As coordenadas planas retangulares UTM do campo de pontos-objeto da Área teste 1, determinadas por transformação de similaridade de Helmert, cujo georreferenciamento foi realizado a partir de três pontos de referência e cujas coordenadas foram determinadas pelos métodos de posicionamento relativo estático e “*stop-and-go*”, apresentam discrepâncias de coordenadas com valores inferiores a 3,4cm, mostrando a viabilidade da aplicação da transformação de similaridade de Helmert para determinação de coordenadas planas retangulares UTM de pontos-objeto.

### 6.2 Área Teste 2

A determinação posicional do campo de pontos de referência determinado com GPS aplicando o método de posicionamento relativo estático permite, em áreas urbanas densamente ocupadas, a exemplo da Área Teste 2, um alcance de precisão interna nas coordenadas do sistema melhor que 1,6cm.

Após o processamento dos dados GPS, coletados no campo de pontos de referência da Área Teste 1 e Área Teste 2, constatou-se que para linhas de base com comprimento de aproximadamente 12 km, aplicando o método de posicionamento relativo estático, o

georreferenciamento de parcelas territoriais urbanas alcança precisões melhor que 1cm. Outro fato importante a ser levado em consideração é que o emprego do GPS de dupla frequência torna-se desnecessário em virtude do curto comprimento das linhas de base. Assim, o emprego de receptores de uma frequência é recomendável.

Para áreas urbanas densamente ocupadas, a exemplo do Sítio Histórico de Olinda, cujo posicionamento de pontos de limites na quadra cadastral de interesse nem sempre é possível por GPS, o método da poligonização, com centragem forçada, apresenta bons resultados para transportar as coordenadas de uma base georreferenciada à outra, cujos pontos de transporte ao longo do trecho servirão de referência para a definição posicional de pontos de limites.

O ajustamento de poligonais (Área Teste 2) que definem o campo de pontos de referência permite o alcance de desvios padrões nas coordenadas planas retangulares UTM, inferiores a 2mm, considerando “excelente” para o georreferenciamento de pontos que servirão de base para a definição de pontos-objeto em levantamentos cadastrais de limites de parcelas territoriais urbanas. As precisões relativas encontradas para as poligonais enquadrada e fechada foram, respectivamente, 1: 19995 e 1: 72198.

Quanto ao campo de pontos-objeto da Área Teste 2 – Sítio Histórico de Olinda, 5 pontos dos 9 determinados os valores de discrepâncias obtidos entre os métodos da irradiação e interseção a vante, a partir de dois pontos de referência, são inferiores a 8 cm.

Um campo de pontos de referência observado por métodos de medição distintos e submetidos a um rigoroso ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados, permite uma confrontação de seus valores posicionais, proporcionando confiabilidade e homogeneidade do levantamento.

A diversidade e integração de métodos ajudam à adaptação dos levantamentos de campo de acordo com as dificuldades e características da área de trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR-13.133. **Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos.** 1994.

ABNT. NBR-14.465. **Execução de Levantamento Planimétrico e Cadastral de Imóvel.** 2001.

ABNT: NBR 14166 – **Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento.** Rio de Janeiro: 1998.

BONIFÁCIO, M. B.; DE SEIXAS, A. **Implantação de Redes Geodésicas para o Cadastro Rural, Georreferenciamento de Imóveis.** XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, Brasil, 21 a 24 de outubro de 2007.

BOTELHO, F.J.L. **Métodos de Racionalização Construtiva no Posicionamento Preciso de Edificações Prediais.** 2003. 96f. Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2003.

BRANDÃO, A C. **O Princípio da Vizinhança Geodésica no Levantamento Cadastral de Parcelas Territoriais.** Tese de Doutorado. Projeto de Qualificação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.

CARNEIRO, A. F. T. **Cadastro Imobiliário e Registro de Imóveis.** Porto Alegre: Sergio Antonio Fabris Editor. 192p. 2002.

DALMOLIN, Q. **Ajustamento Por Mínimos Quadrados.** Curitiba: Imprensa Universitária – UFPR. 175p. 2002.

DE SEIXAS. A.; BURITY, E. F. **Geodésia aplicada à medição e ao monitoramento de áreas de risco em sítios industrializados.** IV CBCG, Curitiba-PR, 2005.

FERREIRA, T. S.; DE SEIXAS, A.; ROMÃO, M. V. C. **Conceituação de Campos de Pontos na Medição de Deformação de Objetos.** Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. Recife. 2004.

GAMA, L. F. **Experimentos e análises metodológicas do desempenho de estruturas geodésicas planimétricas implantadas com GPS e Estação Total: Aplicações em Levantamentos Cadastrais Urbanos.** Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

- e Tecnologias da Geoinformação, Departamento de Engenharia Cartográfica, UFPE, 2008.
- GAMA, L. F.; CARNEIRO, A. F. T.; DE SEIXAS, A. **Normalização da aplicação do posicionamento GPS em Levantamentos Cadastrais.** II Simpósio Brasileiro de Geomática. V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente – SP, 2007.
- GAMA, L. F.; DE SEIXAS, A. **Implantação e análise de estruturas geodésicas obtidas por GPS e Estação Total – Área experimental Campus da UFPE.** In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2008.
- GARNÉS, S. J. A. (2001). **Resolução das ambiguidades GPS para linhas de base curta:** análise dos algoritmos de otimização. 2001. 204f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2001.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de Observações:** Aplicações Geodésicas. Curitiba. Editora UFPR. 319 p. 1994.
- GRAFAREND, E. W. **Optimization of geodetic Networks.** Boll.Geod.a Scien. Alff. 1974.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS: Theory and Practice.** Springer Wien New York. 3ª.ed. 2001. 389 p.
- IBGE. **Resolução - PR no 22, de 21-07-83 -** Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos. 1983.
- KAHMEN, H. **Vermessungskunde: Angewandete Geodesie.** 20. Aufl. 2005.
- LEICK, A. **GPS: Satellite surveying.** 2. ed. New York: J. Wiley. 1995. 560 p.
- MENONÇA, F. J. B.; GARNÉS, S. J. dos A.; PEREIRA, C. M.; NETO, J. A. B.; MELO, W. D. A. **Análise do Ajustamento por Mínimos Quadrados de uma Trilateração Topográfica com Injuções nos Planos UTM e Topocêntrico.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife-PE. 2010.
- MOESER, U.A. **Handbuch Ingenieurgeodaesie. Grundlagen.** Moeser, Mueller, Schlemmer, Werner (Hrsg), 3.; voellig Neugearbeitet und erweiterte Auflage. 2000.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações.** Editora UNESP – São Paulo. 2008.
- MONICO, J. F. G.; SILVA, E. F. **Controle de qualidade em Levantamentos no Contexto da lei nº 10267/01 de 28 de agosto de 2001.** In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba – PR. 2003.
- MORUJÃO, D. M. B. **Resolução Instantânea da Ambiguidade da Fase no Posicionamento Cinemático Preciso com os Sistemas Globais de Navegação por Satélite.** Tese de Doutorado em Ciências Geodésicas e da Geoinformação, Universidade de Lisboa, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. 2009.
- NIEMEIER, W. **Aungleichunsrechnung.** De gruyter Lenhrbuch. 2002.
- NIEMEIER, W. **Netzquaitat und Optimization.** Pelzer(Ed.): Geodaestische Netze II. Wittwer verlage,Stuttgart. 1985.
- ROCHA, R. S. **Proposta de Definição de uma projeção Cartográfica para Mapeamento Sistemático em Grande Escala para o Estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR. Curitiba – 1994.
- ROCHA, R. S.; BRANDÃO, A. C. **Referencial Geodésico no Cadastro Urbano.** XIX Congresso Brasileiro de Cartografia. Recife – Pernambuco. Anais. 1999.
- ROMÃO, V. M. C., CARNEIRO, A. F. T.; PHILIPS, J; SILVA, T. F.; **Rede de Referência Cadastral Municipal: Uma proposta do grupo de trabalho sobre cadastro Municipal (GTCM) do DECart – UFPE.** Anais II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC. Florianópolis. 1996.
- SANTOS JUNIOR, G. **Rede Gravimétrica: Novas Perspectivas de Ajustamento, Análise de Qualidade e Integração de Dados Gravimétricos.** Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Geodésicas, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR. Curitiba. 2005. 172 p.

SANTOS, M. C. dos. **Estabilidade das Estruturas Geodésicas**. UFPR/ setor de Ciências da Terra. Curitiba. 1999. 79 p.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlim, New York: Walter de Gruyter, 2003.

SEGANTINE, P.C.L. **Sistema de Posicionamento Global - GPS**. São Carlos. Editora da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2002. 316 p.

TEUNISSEN, P. J. G. Least-Squares Estimation of the Integer GPS Ambiguities. Invited Lecture, Section IV Theory and Methodology, IAG General Meeting, Beijing, China, August 1993.

TEUNISSEN, P. J. G.; JOOSTEN, P.; TIBERIUS, C. **A Comparison of TCAR, CIR and LAMBDA GNSS Ambiguity Resolution**. Proceedings of ION GPS-02, Fifteenth International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Portland, Oregon. p. 2799-2808. 24-27 September 2002.

USDA e USDI. **Standards and Guidelines for Cadastral Surveying Using Global Positioning System Methods**. Version 1.0. Washington: Department of Agriculture - Forest Service United States of the Interior – Bureau of Land 2001.

WOLF, P.; GHILANI, G. **Adjustment Computations: Statistics and least squares in surveying and GIS**. Inc. New York: John Wiley & Sons, 1996.