

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/2: 411-433
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

CONTROLE DE QUALIDADE DE LEVANTAMENTOS CADASTRAIS PARA A HOMOGENEIZAÇÃO DE PARCELAS TERRITORIAIS URBANAS

Quality Control of Cadastral Surveys for Homogenization Territorial Urban parcels

**Luciene Ferreira Gama¹; Andréa de Seixas²; João Naves de Moraes³;
Ermerson de Vasconcelos Silva⁴ & Thiago Bezerra Galvão⁵**

^{1, 4, 5} Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB
Unidade Acadêmica de Design, Infraestrutura e Meio Ambiente
Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento
Curso Técnico de Edificações Integrado ao Ensino Médio
Av. 1^o de maio, n^o 720, Jaguaribe, João Pessoa-PB, 58015-430
luciene.gama@ifpb.edu.br, ermerson.geoif@gmail.com, thiagobgalvao@hotmail.com

² 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

³ Universidade de São Paulo – USP
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP-PTR
Laboratório de Topografia e Geodesia
Av. Prof. Almeida Prado, travessa 2, n^o 83, Cidade Universitária, São Paulo-SP, 05508-900
j_moraes@usp.br

Recebido em 1 de Abril, 2014/ Aceito em 28 de Julho, 2014
Received on April 1, 2014/ Accepted on July 28, 2014

RESUMO

A caracterização geodésica das parcelas territoriais urbanas deve ser estabelecida a partir da determinação das coordenadas dos pontos que definem as suas linhas de limites através de um levantamento cadastral em conformidade com o Princípio da Vizinhança Geodésica. Este princípio exige que o levantamento seja realizado com redundância e controle das observações e a partir do ajustamento conjunto dos pontos de referência e pontos de limites. Tal procedimento conduz à homogeneização dos levantamentos cadastrais, obtida quando as coordenadas dos pontos de limites de parcelas apresentam acurácias posicionais estatisticamente determinadas, condizentes com os padrões de acurácias posicionais estabelecidos. Para o cadastro urbano no Brasil não existe lei ou norma técnica específica que estabelece aos profissionais procedimentos técnicos de medições e padrões de acurácia. No âmbito deste estudo, o objetivo é especificar acurácias posicionais para a determinação de pontos de referência, limites e detalhes aplicando-se o controle de qualidade para garantia do Princípio da Vizinhança Geodésica e da homogeneização no levantamento cadastral planialtimétrico de parcelas territoriais urbanas; recomendando-se tolerâncias posicionais aplicáveis. Com relação aos resultados alcançados, a acurácia posicional planimétrica para pontos de referência estimados utilizando-se GNSS e

estação total foi de $\pm 0,05\text{m}$. Para pontos de limites e detalhes os resultados obtidos apresentaram acurácia posicional planimétrica de $\pm 0,08\text{m}$. Em relação às acurácias posicionais altimétricas, obtidas para os pontos de referência através do nivelamento geométrico, os resultados alcançados foram de $\pm 0,001\text{m}$. As coordenadas altimétricas dos pontos de limites e detalhes, determinadas por nivelamento trigonométrico, não foram ajustadas. Por isso, não foi possível estimar sua acurácia posicional em conformidade com o Princípio da Vizinhança Geodésica.

Palavras chaves: Parcelas Territoriais Urbanas, Controle de Qualidade, Princípio da Vizinhança Geodésica e Homogeneização.

ABSTRACT

The geodesic characterization of urban territorial parcels shall be established by determining the coordinates of points that define its boundary lines through a cadastral survey in accordance with the Principle of Geodesic Neighborhood. This principle requires that the survey be conducted with observation redundancy and control and from a joint adjustment of landmarks and points of limits. This procedure leads to the homogenization of cadastral surveys, obtained when the coordinates of the boundaries of parcels feature positional accuracies statistically determined, consistent with the established standards of positional accuracies. For the urban cadaster in Brazil, there is no specific law or rule dictating for technical professionals any technical procedures and standards of measurement accuracy. Within this study, the objective is to specify positional accuracies for determining landmarks, boundaries and details, while applying quality control to guarantee the Principle of Geodesic Neighborhood and cadastral planialtimetric surveying homogenization of urban territorial parcels, recommending applicable positional tolerances. Regarding the results achieved, the planimetric positional accuracy for the estimated reference points using GNSS and Total Station was $\pm 0.05\text{m}$. For limit points and details, the results showed planimetric positional accuracy of $\pm 0.08\text{m}$. Regarding altimetric positional accuracies, obtained for the reference points through leveling, the results were within $\pm 0.001\text{m}$. The altimetric coordinates of limits and details, determined by trigonometric leveling, have not been adjusted. Hence, it was not possible to estimate their positional accuracy in compliance with the Principle of Geodesic Neighborhood.

Key words: Territorial Urban Parcels, Quality Control, Principle of Geodesic Neighborhood, and Homogenization.

1. INTRODUÇÃO

O levantamento cadastral é um levantamento especial, pois possui funções que extrapolam a característica técnica e envolvem questões legais. Por isso, as aplicações cadastrais devem seguir normas específicas de levantamento.

No cadastro territorial do Brasil, a tolerância posicional estabelecida por norma e lei específica refere-se aos padrões de acurácia estabelecidos nos levantamentos geodésicos cadastrais de Imóveis Rurais, para Pontos de Referência (Apoio Básico e Imediato) e Pontos de Limites, exemplificando a Lei 10.267/2001 e Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais. Contudo, no cadastro territorial urbano, a tolerância posicional a ser atendida na determinação de pontos de limites e pontos de detalhes/feições de Parcelas Territoriais Urbanas, não é determinada por legislação cadastral específica. Para estes, existe um conjunto de normas, as quais 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^2 , para fins de estudos, projetos e edificações (NBR 14.645-1/2001).

As normas citadas, estabelecidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), tratam de levantamentos de forma geral. Com isso, os limites de parcelas territoriais urbanas são determinados utilizando-se o erro máximo admissível para áreas estabelecidas no Código Civil. Segundo o artigo 1136, a precisão para dimensões e extensões dos imóveis destes levantamentos deve ser maior que 1:20 ou 5% do total da área.

Em conformidade com a porcentagem estabelecida no Código Civil, trabalhos foram desenvolvidos a cerca da acurácia para o cadastro urbano. Brandão (2003); Parma *et al.*, (2002) e Romão *et al.*, (1996) alcançaram erro máximo aceitável no posicionamento de limites de parcelas territoriais urbanas de $\pm 0,10\text{m}$, mas nada foi definido para pontos de detalhes.

Os pontos de referência ao levantamento cadastral, implantados na área de trabalho, devem ser injuncionados à Rede de Referência Cadastral Municipal, cujos pontos devem ser considerados fixos no ajustamento. A tolerância planimétrica a ser alcançada com os pontos de referência deve ser da ordem de $\pm 0,03\text{m}$, conforme Romão *et al.*, (1996). Com relação à tolerância altimétrica não foram encontradas referências que tratam da mesma para levantamentos cadastrais no Brasil.

Nos levantamentos cadastrais do Brasil, as medições de controle quando realizadas, são referentes à determinação planimétrica de pontos de referência e não à determinação altimétrica destes. Em geral, os levantamentos cadastrais são realizados sem medições de controle planimétrico e altimétrico para os pontos que definem os limites de parcelas, com exceção dos pontos de referência determinados, por exemplo, pelo método da poligonação, cujo controle pode ser feito pelo erro de fechamento angular e linear.

Os pontos de referência, de limites e detalhes, definidos por coordenadas planimétricas e altimétricas, são responsáveis pela representação geométrica cartográfica de parcelas territoriais urbanas no espaço tridimensional.

Para esta representação, é fundamental priorizar a qualidade dos levantamentos geodésicos/topográficos, visando otimizar trabalhos futuros. Neste sentido, no Brasil são poucos os trabalhos referentes ao controle de qualidade de levantamentos cadastrais, principalmente, com relação à representação tridimensional da parcela, isto porque, além de complexos, estes levantamentos exigem redundância das observações. Nesta temática, alguns trabalhos são considerados relevantes, quando se trata do controle de qualidade das informações cadastrais, entre os quais se destacam Moraes (2001), Brandão (2003), Gama *et al.* (2012), e Barros & Carneiro (2013). Segundo esses autores o controle de qualidade proporciona maior confiabilidade na representação fidedigna da geometria da parcela territorial ou das edificações.

No âmbito deste estudo, o objetivo é especificar acurácias posicionais para a determinação de pontos de referência, limites e detalhes aplicando-se o controle de qualidade para garantia do Princípio da Vizinhança Geodésica e da homogeneização no levantamento cadastral

planialtimétrico de parcelas territoriais urbanas; recomendando-se tolerâncias posicionais aplicáveis.

As parcelas territoriais urbanas são representadas por edificações prediais, localizadas no Centro Histórico da cidade de João Pessoa-PB. Os pontos de detalhes são pontos que caracterizam a fachada das edificações.

2. EDIFICAÇÕES PREDIAIS HISTÓRICAS

Monumentos históricos, como edificações prediais, resgatam os valores de uma cidade, pertencendo assim, ao Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade. A presença do IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) na Paraíba tem importância estratégica para o Centro Histórico de João Pessoa, desde 1937, segundo Vital (2007).

Ainda segundo este autor, no ano de 2011, o trabalho do IPHAN na Paraíba foi intenso pelo reconhecimento e significado do patrimônio local, resultado de levantamentos arquitetônicos e pesquisas históricas, arqueológicas e iconográficas que possibilitaram rico cadastramento patrimonial. O tombamento de edificações prediais históricas, e o trabalho contínuo para a preservação destes bens em número tão significativo, testemunham a densidade histórica, cultural e patrimonial do Centro Histórico de João Pessoa (VITAL, 2007).

As edificações prediais históricas, de acordo com visita técnica realizada ao IPHAN por Rocha *et al.*, (2012), não dispõem atualmente de um plano de gestão com relação a um Sistema de Informações Territoriais, cujas informações são referenciadas a um Sistema de Referência Geodésico.

Os sistemas geodésicos de referência, através da aplicação de métodos de medição Geodésicos/ Topográficos, são importantes para o posicionamento e reconstrução de edificações arquitetônicas históricas (GAMA *et al.*, 2008).

O monitoramento automático de deformação de obras arquitetônicas incentivou na década de 1990, o estudo, aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos sistemas geodésicos e fotogramétricos de medição tridimensional. Medições de interiores de edificações e de ruínas arqueológicas são uma das áreas de aplicação destes sistemas de medição, onde a representação do objeto é de grande importância

para a reconstrução e conservação das estruturas arquitetônicas (GAMA *et al.*, 2008; Gama *et al.*, 2012).

No Centro Histórico do município de João Pessoa, estão localizadas diversas edificações prediais históricas; entre elas, as igrejas de Santa Tereza de Jesus da Ordem Terceira do Carmo, São Bento, São Francisco, Nossa Senhora das Neves, além de ruas que marcaram a formação da Cidade.

Com a proposta de registrar as fachadas de edificações de ruas que marcaram momentos importantes da cidade de João Pessoa, em 1984 foram realizados trabalhos de registro histórico, ainda que pouco sistemático, de quatro ruas da cidade. A partir de 2000, este trabalho foi retomado e realizou-se o registro das mesmas, entre as quais se cita a Avenida General Ozório (antiga Rua Nova). Esta avenida e a Rua Duque de Caxias (antiga Rua Direita) marcavam as primeiras ruas na Cidade Alta (TINEM, 2006).

Na Figura 1, o registro histórico das edificações da Avenida General Ozório, realizado por Tinem (2006), entre outras abordagens, trata da representação geométrica das fachadas.

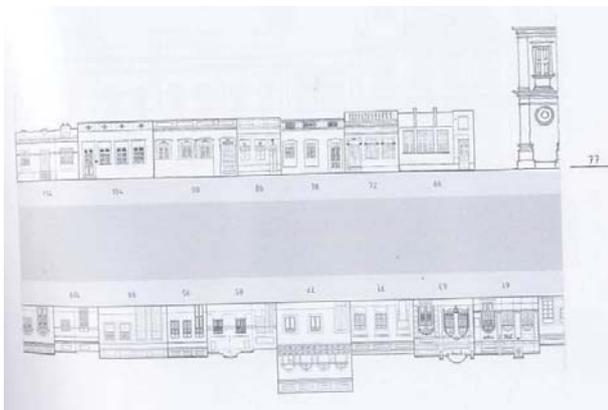


Fig. 1 - Representação geométrica de fachadas de edificações. Fonte: (TINEM, 2006).

Segundo Tinem (2006), este registro tem o objetivo de preservar a arquitetura original das edificações, com base em fotografias atuais e antigas e medidas lineares realizadas à trena, além de atender à demanda de uma possível reconstrução futura. Contudo, estes levantamentos são locais, isto é, sem conexão ao Sistema de Referência Geodésico Brasileiro.

3. CONTROLE DE QUALIDADE DAS MEDIÇÕES CADASTRAIS

A representação geométrica de edificações deve ser realizada a partir de levantamento geodésico de pontos que representam a edificação, definidos a partir de vértices geodésicos de um sistema de referência oficial (ROCHA *et al.*, 2012).

A definição de estruturas geodésicas, por exemplo, ponto de referência deve considerar as normatizações da ABNT e as resoluções e normas do IBGE como apoio aos levantamentos geodésicos/topográficos, além do ajustamento das observações pelo MMQ. A qualidade na obtenção dos dados é uma etapa necessária para a geração de um excelente produto. A utilização do controle de qualidade garante uma série de benefícios, tais como: a visibilidade frente ao mercado, a redução de custos e tempo e a confiabilidade do produto gerado (SILVA & SEIXAS, 2014a).

Em (SILVA & SEIXAS, 2014b) abordam-se como os métodos GNSS e os Métodos Terrestres de Medição podem ser aplicados de modo a garantir um resultado compatível com a precisão do equipamento empregado na locação e controle dimensional de edificações prediais. Ressaltando-se o emprego destes nos Projetos de Engenharia para o georreferenciamento, locação e controle dimensional de elementos estruturais da Construção Civil. Os Métodos com base nos Sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System) e os Métodos Terrestres de Medição, tais como: Poligonação, Interseção a Vante e a Ré, Irradiação, Bilateração, são neste cenário métodos técnicos para a execução e acompanhamento das obras. Estes favorecem a locação e o controle geométrico de estruturas da Construção Civil, pois garantem uma exatidão compatível com as tolerâncias expressas nas normas ou compatíveis com a precisão do equipamento utilizado. O emprego dessas tecnologias melhora, portanto, o desempenho geométrico da obra, garantindo uma confiabilidade posicional dos elementos estruturais da mesma. Neste contexto foram definidas e implantadas estruturas geodésicas e sistemas de referência. Finalizando-se com a análise da acurácia posicional dos métodos

empregados para a definição de pontos de referência.

Neste trabalho, o conceito de qualidade posicional adotado é o mesmo utilizado por Brandão (2003). Este autor define a qualidade posicional dos pontos de referência e de limites de uma edificação predial como um indicador da confiabilidade estatística da determinação da posição destes pontos. A aplicação de padrões de qualidade posicional no levantamento geodésico é necessária para (BRANDÃO, 2003):

a) Garantir a inequívoca caracterização espacial das parcelas, assegurando que o tamanho e forma atual da parcela sobre o terreno é a mesma daquela representada pelo levantamento;

b) Controlar as acurácias com que as posições dos pontos de limites da parcela e de detalhes são fixadas em relação a outros pontos, aos marcos de testemunhas e à rede de referência (pontos de referência);

c) Facilitar o eficiente restabelecimento e reintegração das posições de pontos de limites de parcelas e de detalhes.

O controle de qualidade das medições geodésicas/topográficas cadastrais para a representação de uma parcela pode se realizado: a partir da verificação dos instrumentos utilizados; na área de trabalho em função das observações realizadas em campo e seus respectivos desvios padrão; a partir da definição de pontos de referência conectados a um Sistema de Referência Geodésico Oficial; a partir do cálculo do erro de fechamento nos circuitos de nivelamento geométrico e respectivos perímetros realizados; a partir do emprego de visadas equidistantes; a partir da aplicação de diferentes métodos de medição; a partir da utilização da técnica de medição de ângulos por pares conjugados e distâncias por valores médios; através da aplicação de várias estratégias de processamento de dados; a partir da adoção de pontos de referência distintos e por meio do ajustamento das observações.

Nos levantamentos geodésicos/topográficos cadastrais quando se objetiva dispor de um levantamento com dados compatíveis com tolerâncias estabelecidas em normas, o mesmo deve ser controlado e posteriormente, ajustado (GAMA, 2008).

Monico *et al.*, (2009) definem que, em

um levantamento no qual os erros sistemáticos e aleatórios são tratados ao longo de todo o processo de medição, faz-se uma análise de acurácia.

No processo de medição geodésica, inicialmente deve-se definir a tolerância posicional necessária para atender as finalidades do levantamento. A partir daí é que se devem estabelecer os métodos de levantamento, o nível de densificação dos pontos de referência e os critérios de qualidade da precisão das medidas, de modo a ser possível obter uma acurácia posicional que atenda a tolerância especificada (BRANDÃO, 2003). O problema é que no Brasil, inexistente uma lei específica para levantamentos em áreas urbanas, e que estabeleça quais métodos e padrões de acurácia devem ser alcançados ao se medir uma edificação predial ou parcelas territoriais. Na ausência da lei, justificam-se, ainda mais, pesquisas visando definir parâmetros para os casos concretos.

Neste contexto, para a determinação das coordenadas dos pontos de referência utilizando o GNSS, o trabalho será desenvolvido em conformidade com as recomendações da norma norte americana (*Standards and Guidelines for Cadastral Surveying using Global Positioning System Methods*) (USDA e USDI, 2001), destinada para uso de GPS em levantamentos cadastrais, detalhando, padrões de acurácia aceitáveis, operações e procedimento de levantamento de campo, processamento e análise de dados.

Nesta norma recomenda-se padrões de acurácia horizontal com uso do GPS para pontos de referência ao levantamento cadastral de $\pm 0,05\text{m}$ e de $\pm 0,10\text{m}$ a medição cadastral das parcelas territoriais. O ajustamento deve ser realizado com nível de confiança de 95% (LONDE, 2002).

Com base em estudos realizados para levantamentos cadastrais em áreas urbanas no Brasil, este trabalho objetiva atingir os padrões de acurácia posicional para os pontos de referência de $\pm 0,05\text{m}$ e para pontos de limites e detalhes de $\pm 0,10\text{m}$ medidos por métodos de medição topográficos.

Quanto à tolerância posicional altimétrica para levantamentos cadastrais no Brasil, não existe lei ou norma técnica específica a cerca da acurácia posicional de pontos de referência,

de limites e detalhes. Adota-se neste trabalho, as tolerâncias altimétricas com uso do nivelamento geométrico estabelecidas pela norma NBR 13.133/1994 e pela Resolução - PR nº 22/1983 (Especificações e Normas Gerais de Levantamentos Geodésicos) (IBGE, 1983), as quais apresentam tolerâncias maiores que $12mm\sqrt{K}$ e $2mm\sqrt{K}$, respectivamente; sendo K , o perímetro do circuito durante a medição, em km.

3.1 Princípio da Vizinhança Geodésica e Homogeneização do Levantamento Cadastral

A seguir são definidos os conceitos de terminologias como parcela territorial, pontos de referência, de limites e de detalhes, adotadas neste trabalho.

Parcela territorial é a unidade territorial básica do Cadastro, correspondente a uma determinada extensão territorial com característica própria, ou ainda, uma porção do território com condições homogêneas de domínio. Cada parcela é definida por limites formais ou informais e possui um único código identificador (FIG, 2001; FIG, 1995).

Pontos de referência são pontos estabelecidos na área de estudo para servir de referência ao levantamento cadastral de limites de parcelas territoriais. Estes devem ser determinados por métodos de posicionamento GNSS ou métodos de medição topográfica, ajustados de modo hierárquico a pontos que integram as Redes do Sistema Geodésico Brasileiro.

Pontos de limites são pontos que identificam o limite da parcela territorial ou edificação, podendo ser obtidos por métodos de posicionamento GNSS ou métodos de medição topográfica.

Por fim, pontos de detalhes são definidos pela NBR 13.133/1994 como pontos importantes dos acidentes naturais e/ou artificiais, definidores da forma do detalhe e/ou do relevo, indispensáveis a sua representação gráfica.

Um levantamento cadastral em conformidade com o Princípio da Vizinhança Geodésica exige que o levantamento seja realizado com redundância e controle das observações e a partir do ajustamento conjunto dos pontos de referência e pontos de limites de parcelas. Isto possibilita a homogeneização do levantamento cadastral em termos de qualidade

posicional (BRANDÃO, 2003).

A homogeneização do levantamento cadastral consiste em vincular os conceitos de acurácia posicional com relação a pontos vizinhos, de modo que se compatibilize os levantamentos de parcelas adjacentes entre si, realizando-se no ajustamento de observações inunções entre estes levantamentos com relação ao Sistema de Referência Oficial (GAMA, 2008).

O método de ajustamento utilizado é o MMQ (Método dos Mínimos Quadrados), por meio do modelo paramétrico. Em ajustes de mínimos quadrados, não importa se condicional ou paramétrico, as verificações geométricas no final do ajustamento são satisfeitas e obtêm-se as mesmas observações ajustadas (GHILANI, 2010).

Segundo este autor, a escolha do modelo funcional irá determinar quais as quantidades ou parâmetros são ajustados. Ao realizar um ajuste paramétrico, as observações são expressas em termos de parâmetros desconhecidos, os quais não foram observados diretamente.

A Análise da qualidade do ajustamento consiste na comparação entre as variâncias das unidades de peso unitários a priori, σ_0^2 , e a posteriori $\hat{\sigma}_0^2$. Para esta análise é utilizado o teste Qui-Quadrado χ^2 , conhecido também como Teste Global do Modelo ou Teste n-dimensional (MIKHAIL e GRACIE, 1981; FRASER, 2003). O teste leva à formação de duas hipóteses, sendo a hipótese nula, H_0 , e a hipótese alternativa H_a :

$$\begin{aligned} H_0 &: E\{\hat{\sigma}_0^2\} = \sigma_0^2 \\ H_a &: E\{\hat{\sigma}_0^2\} > \sigma_0^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Testa-se a hipótese de que a variância da unidade de peso a posteriori, estimada no ajustamento, é a mesma que a variância da unidade de peso a priori, preestabelecida, contra a variância da unidade de peso a posteriori ser maior do que a variância da unidade de peso a priori.

Para a validação de uma das hipóteses, compara-se o valor calculado dado por:

$$\chi_c^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} S \quad (2)$$

no qual: χ_c^2 , Qui-quadrado calculado, tem distribuição χ^2 , com graus de liberdade igual a $n-u$, com os valores teóricos da distribuição $\chi_{(S,1-\alpha)}^2$.

A hipótese nula H_0 não é rejeitada, ao nível de significância α , no teste estatístico, se: $\chi_c^2 < \chi_{(S,1-\alpha)}^2$. Caso contrário, $\chi_c^2 > \chi_{(S,1-\alpha)}^2$, significa que há problemas no ajustamento,

ou seja, a hipótese alternativa é rejeitada ao nível de significância de α . Desta forma, o ajustamento não é aceito, pois existem erros envolvidos. Assim, torna-se necessário realizar um teste estatístico para identificar as possíveis observações com erros grosseiros ou sistemáticos.

O teste é baseado no resíduo e na sua Matriz das Covariâncias. O resíduo que contradiz uma propriedade estatística $E\{v\} = 0$ é designado "outlier".

Considerando-se o nível de confiabilidade, como resultado do ajustamento a matriz Covariância dos parâmetros ajustados $\sum X_a$, é obtida. Além desta, também são estimadas as matrizes Covariâncias das observações ajustadas $\sum L_a$, e dos resíduos $\sum V$; detalhes sobre estas matrizes podem ser consultados em Gemael (1994).

4. METODOLOGIA APLICADA NO CONTROLE DE QUALIDADE DOS LEVANTAMENTOS CADASTRAIS DE PARCELAS TERRITORIAIS URBANAS

Neste item, apresenta-se a área de estudo, materiais e metodologia adotados no controle de qualidade dos levantamentos cadastrais envolvendo a aquisição, processamento e ajustamento dos dados.

Os dados utilizados são resultados de dois projetos desenvolvidos na área de estudo, o projeto intitulado A Contribuição da Geodésia Aplicada para Discretização de Edificações Prediais, Chamada do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq/Vale S.A. Nº05/2012 Forma-Engenharia, e do projeto de Pesquisa e Inovação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Edital nº 13/2012, chamado Expansão da Estrutura Geodésica Fundamental na Cidade de João Pessoa-PB.

4.1 Caracterização da Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido no Centro Histórico da Cidade de João Pessoa, cujas edificações são de diferentes épocas, constituído por sobrados, praças, casarios coloniais e igrejas seculares. A Figura 2 mostra a área de estudo.

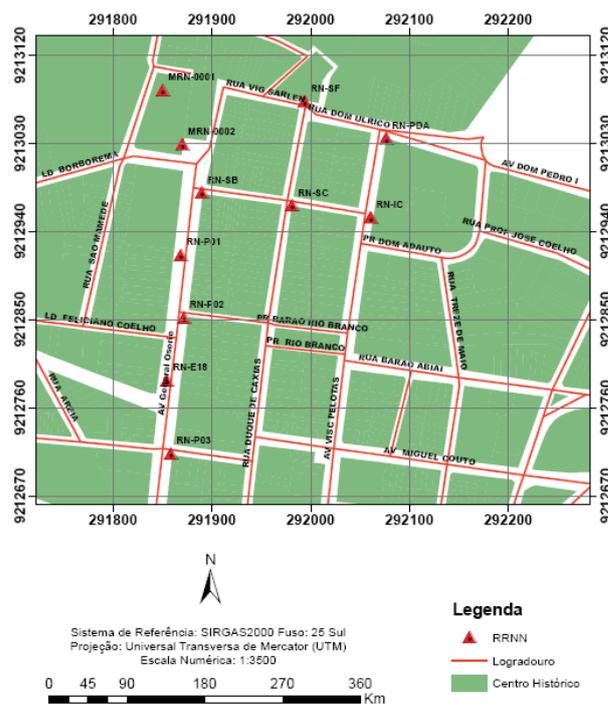


Fig. 2 - Área de estudo, Centro Histórico de João Pessoa - PB.

A justificativa para adoção do Centro Histórico de João Pessoa como área de estudo é a necessidade da densificação de pontos geodésicos de referência, com coordenadas planialtimétricas conhecidas para o apoio às atividades de levantamento no geral, monitoramento de obras de engenharia e principalmente, para referenciar os levantamentos cadastrais de representação tridimensional das edificações prediais históricas nesta Área.

4.2 Materiais

Os materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho são os equipamentos topográficos/geodésicos: Nível Digital Leica DNA – 03 (precisão ±0,3mm/km, 1km duplo nivelado) classificado pela NBR 13.133/94 como nível de precisão muito alta, Nível Topcon AT-B4 (precisão ±2mm/km, 1km duplo nivelado) classificado pela NBR 13.133/1194 como nível de precisão alta, Estação Total RUIDE modelo RTS-820 (precisão angular ±2" e precisão linear ±3mm +3ppm) classificada pela NBR 13.133/1994 como estação total de precisão alta, e os receptores geodésicos: modelo Hiper Lite Plus Topcon de dupla frequência (L1/L2)

com precisão horizontal de $3\text{mm} + 0,5\text{ppm}$ e vertical de $5\text{mm} + 0,5\text{ppm}$ para levantamentos estáticos e receptores Pro Mark2 (Ashtech) de uma frequência (L1) com precisão horizontal de $5\text{mm} + 1\text{ppm}$ e vertical de $10\text{mm} + 2\text{ppm}$ para levantamentos estáticos.

Para o processamento foram utilizados os softwares *DataGeosis Office versão 7.5.7.2*, de processamento de dados topográficos/geodésicos; o software *Topcon Tools 7.5.1* de processamento de dados GNSS e para os cálculos o software *Scilab 5.3.2*.

4.3 Determinação Altimétrica dos Pontos de Referência

O Nivelamento Geométrico é o método que determina a diferença de nível entre os pontos do terreno por meio da realização de leituras em miras graduadas, ré e vante, utilizando um nível de luneta. O nível deve estar nivelado, portanto, estar com seu eixo ótico tangente à superfície equipotencial que passa pelo mesmo (DREWES et al., 1998).

As altitudes dos pontos de referência foram determinadas por nivelamento geométrico realizado em duas etapas. A primeira etapa foi realizada com o emprego do Nível Digital Leica DNA-03, e a segunda realizada com o emprego do Nível Analógico Topcon AT-B4.

4.3.1 Método do Nivelamento Geométrico de Precisão Muito Alta

Os experimentos foram realizados no entorno de várias quadras urbanas totalmente edificadas. A área de estudo contempla apenas uma Referência de Nível, (RN396A), que integra a rede geodésica altimétrica do IBGE, implantada próxima à porta principal da igreja Nossa Senhora das Neves. O sistema de referência altimétrico das RRNN implantadas está fixado nesta RN, que possui altitude correspondente a 47,2198m, com data de cálculo em 15/06/2011.

O nivelamento geométrico foi realizado nos dias 30/05/2013 e 31/05/2013. Este envolve uma rede altimétrica composta por 9 (nove) referências de nível, compostas por dois marcos de concreto, MRN0001 e MRN0002, localizados na Praça da igreja Nossa Senhora das Neves e 6 (seis) pinos metálicos, RN-SB, localizado próximo à igreja São Bento, RN-E18, localizado próximo ao Edifício 18, RN-SC, localizado entre

as igrejas São Bento e Nossa Senhora do Carmo, RN-IC e RN-PDA, localizados na Praça da igreja Nossa Senhora do Carmo e RN-SF, localizado na calçada da Praça da igreja São Francisco.

O nivelamento geométrico dos pontos de referência foi executado partindo do referencial altimétrico do IBGE (RN396A), perfazendo no total 6 (seis) circuitos fechados, compostos por 14 (quatorze) linhas de nivelamento geométrico.

As medições com a mira de invar de 2m foram realizadas continuamente a partir das estações com visadas a ré e a vante. As medições com o equipamento foram realizadas da seguinte maneira: o instrumento estava programado para realizar quatro medições sucessivas, ao término no *display* eram apresentadas as médias e o desvio padrão da medição da altura e a distância horizontal do equipamento para a mira de invar. Durante as medições, a função EC estava ativada para a correção da influência da curvatura terrestre. Isto significa que as leituras das miras, medidas eletronicamente, são automaticamente corrigidas em relação à curvatura da Terra (SOUZA, 2012). Isto é importante quando as equidistâncias do instrumento para as miras de ré e vante não são simétricas.

Com a conclusão do levantamento de campo foi possível a partir das linhas de nivelamento geométrico definidas, fechar vários circuitos de nivelamento (Figura 3 e Tabela 1). Isto permitiu a realização do ajustamento das observações utilizando o MMQ.

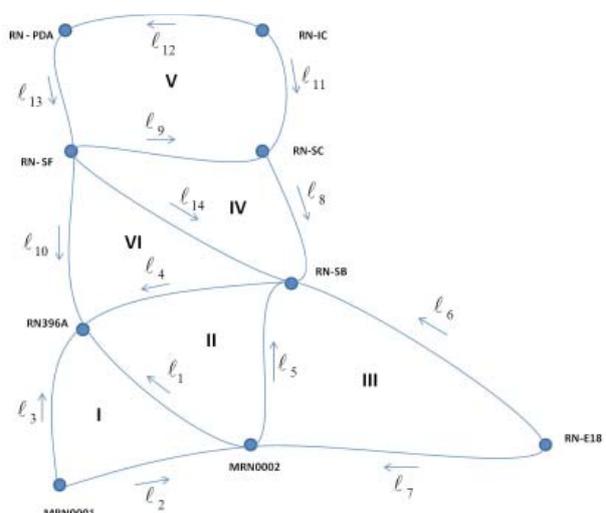


Fig. 3 - Circuitos do nivelamento geométrico.

A Tabela 1 apresenta o erro de fechamento e o perímetro para cada circuito independente

formado. Todos os erros de fechamento foram abaixo da casa do milímetro (mm), o que é suficiente para a finalidade proposta.

Tabela 1: Erro de fechamento e perímetro dos circuitos nivelados

CIRCUITO	LINHAS	PERÍMETRO (km)	ERRO DE FECHAMENTO (m)
I	l_1, l_2 e l_3	0,36588	0,00038
II	l_1, l_4 e l_5	0,03474	0,00034
III	l_5, l_6 e l_7	0,50549	-0,00035
IV	l_6, l_8 e l_{14}	0,40840	0,00034
V	l_9, l_{11}, l_{12} e l_{13}	0,39494	0,00073
VI	l_9, l_{10} e l_{14}	0,37505	0,00075

4.3.1.1 Ajustamento das Observações

Através do cálculo de compensação e da distribuição dos erros ocasionados no nivelamento geométrico, foram determinadas as altitudes das RRNN (Referências de Nível).

Segundo IBGE (1983), o erro de fechamento admissível no nivelamento geométrico de alta precisão deve ser melhor que $2mm\sqrt{K}$, K , o perímetro do circuito durante a medição, em km. Para valores de fechamento maiores que este, recomenda-se um novo levantamento.

Para o ajustamento da rede de nivelamento utilizou-se como observações as diferenças de nível (ΔH) apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: diferenças de nível entre as rrnn e respectivas linhas de nivelamento

SAÍDA	CHEGADA	LINHA	ΔH (m)	COMPRIMENTO DA LINHA (km)
RN396A	MRN0002	l_1	0,39142	0,22225
MRN0002	MRN0001	l_2	4,13190	0,06029
MRN0001	RN396A	l_3	4,52370	0,08334
RN396A	RN-SB	l_4	0,18194	0,06989
RN-SB	MRN0002	l_5	0,20905	0,05526
RN-SB	RNE18	l_6	1,47667	0,20581
RNE18	MRN0002	l_7	1,26797	0,24442
RN_S.B	RN-SC	l_8	0,60246	0,09223
RN-SC	RN-SF	l_9	0,14980	0,11090
RN-SF	RN396A	l_{10}	0,93432	0,01467
RN-SC	RN-IC	l_{11}	2,08689	0,08030
RN-IC	RN-PDA	l_{12}	1,27701	0,08675
RN-PDA	RN-SF	l_{13}	0,66083	0,09966
RN-SF	RN-SB	l_{14}	0,75183	0,19182

As coordenadas altimétricas foram ajustadas utilizando-se o MMQ por meio do modelo paramétrico, ao nível de 99,5%

de confiança. Seguindo-se com a análise da qualidade do ajustamento com o Teste Global do Modelo (TGM).

Foram definidas as matrizes e vetores envolvidos, conforme Gemael (1994), finalizando-se com as estimativas dos parâmetros ajustados, altitudes ajustadas, das observações ajustadas ou desníveis ajustados e vetor dos resíduos, todos com suas respectivas incertezas.

Como anteriormente citado na subseção 4.3.1, foram realizadas 14 (quatorze) linhas de nivelamento geométrico (Figura 3), representando os desníveis medidos, considerados neste modelo de ajustamento como observações (l_b). As linhas de nivelamento geométrico envolveram 9 (nove) RRNN, sendo a altitude da RN396A considerada fixa e as demais consideradas como incógnitas. Resultam assim, as equações de observação, com grau de liberdade $S = n - u$ igual a 6 (seis), sendo $n = 14$ o número de observações e $u = 8$ o número de incógnitas.

Para escrever as equações de observação, é necessário que as equações sejam independentes entre si. Para efeito de simplificação, foram feitas as seguintes considerações: RN396A(H_A), MRN0002(H_B), MRN0001(H_C), RN-SB(H_D), RN-E18(H_E), RN-SC(H_F), RN-SF(H_G), RN-IC(H_H), RN-PDA(H_I). Estas equações utilizam os valores das diferenças de nível (ΔH) entre as RRNN, apresentadas na Tabela 2.

Em seguida, escrevem-se as equações de observação transformadas:

$$H_A - H_B = l_1 + v_1$$

$$H_B - H_C = l_2 + v_2$$

$$H_A - H_C = l_3 + v_3$$

$$H_A - H_D = l_4 + v_4$$

$$H_D - H_B = l_5 + v_5$$

$$H_D - H_E = l_6 + v_6$$

$$H_B - H_E = l_7 + v_7$$

$$H_D - H_F = l_8 + v_8$$

$$H_F - H_G = l_9 + v_9$$

$$H_A - H_G = l_{10} + v_{10}$$

$$H_F - H_H = l_{11} + v_{11}$$

$$H_I - H_H = l_{12} + v_{12}$$

$$H_G - H_I = l_{13} + v_{13}$$

$$H_D - H_G = l_{14} + v_{14}$$

O modelo sendo linear, os coeficientes das incógnitas representam as derivadas parciais, resultando a matriz A , de ordem $n \times u$ igual a 14×8 ; os elementos da matriz A são formados pela derivada da equação de observação em relação aos parâmetros X (GEMAEL, 1994).

A distância de cada seção, representada por k_i e o desnível medido, h_i , são dados na Tabela 2. As observações são ditas não correlacionadas e as variâncias são proporcionais às distâncias k_i , em km. São calculadas as altitudes ajustadas, estabelecendo-se, para isso, as seguintes considerações conceituais: primeiro, que as observações são independentes, isto é, a matriz Peso P é diagonal; segundo: que os pesos sejam inversamente proporcionais aos comprimentos das linhas ($P_i = 1/k_i$).

Especificadas as matrizes A e L , esta última, definida como a diferença entre o Vetor das Observações e o Vetor das Observações em Função dos Parâmetros Aproximados, posteriormente, calcula-se a matriz dos pesos. Neste, considera-se para o cálculo da variância da unidade de peso unitário a priori, σ_0^2 , a tolerância altimétrica do Nível Digital DNA-03 para cálculo do erro de fechamento do circuito nivelado, $\sigma_i = 0,3mm\sqrt{k_i}$, tendo-se assim, $\sigma_0^2 = \sigma_i^2 = 9 \times 10^{-8} \times k_i$. Reescrevendo-se a matriz Peso, obtém-se: $P_{14 \times 14} = k_i^{-1}_{14 \times 14}$.

Os valores observados ajustados são obtidos a partir do vetor dos resíduos, resultando no vetor das observações ajustadas L_a .

Com relação a estes cálculos, foi obtida uma variância da observação de peso unitário *a posteriori* $\hat{\sigma}_0^2 = 2 \times 10^{-7}$

4.3.1.2 Análise da Qualidade do Ajustamento

Utilizando-se o teste Qui-Quadrado, χ^2 , apresentado no item 3.1, tem-se:

$$\chi_c^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} S = \frac{2 \times 10^{-7}}{9 \times 10^{-8}} \cdot 6 = 13,333$$

com graus de liberdade igual a 6 (seis), com os valores teóricos da distribuição $\chi_{(S, 1-\alpha)}^2$.

Sendo o $X_{(6, 0,995)}^2 = 18,55$, o teste é aceito ao nível de confiança de 99,5%, pois $\chi_c^2 > \chi_{(6, 0,005)}^2 = 0,68$ e $\chi_c^2 = 13,333 < \chi_{(6, 0,995)}^2 = 18,55$. O teste

também é aceito ao nível de confiança de 95%, pois, analogamente, $\chi_c^2 > \chi_{(6, 0,025)}^2 = 1,24$ e $\chi_c^2 = 13,333 < \chi_{(6, 0,975)}^2 = 14,45$. A hipótese nula H_0 não é rejeitada ao nível de significância de 0,5% e 5%, respectivamente.

Em seguida calcula-se a Matriz Covariância dos resíduos, das observações ajustadas e dos parâmetros ajustados.

Os resíduos com suas respectivas incertezas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Resíduos e suas respectivas incertezas

RESÍDUOS	VALORES DOS RESÍDUOS (m)	INCERTEZAS (m)
v_1	- 0,00002	±0,0001
v_2	0,00016	±0,0001
v_3	- 0,00021	±0,0001
v_4	0,00028	±0,0001
v_5	0,00013	±0,0001
v_6	0,00022	±0,0002
v_7	- 0,00026	±0,0003
v_8	- 0,00002	±0,0001
v_9	- 0,00024	±0,0002
v_{10}	- 0,00009	±0,0002
v_{11}	0,00015	±0,0001
v_{12}	- 0,00016	±0,0001
v_{13}	- 0,00019	±0,0001
v_{14}	0,00017	±0,0003

As observações ajustadas são dadas na Tabela 4.

Tabela 4: Desníveis ajustados e respectivas incertezas

OBSERVAÇÕES AJUSTADAS	ΔH^a (m)	INCERTEZAS (m)
l_1^a	0,3914	±0,0001
l_2^a	4,1320	±0,0001
l_3^a	4,5234	±0,0001
l_4^a	0,1822	±0,0001
l_5^a	0,2092	±0,0001
l_6^a	1,4768	±0,0003
l_7^a	1,2677	±0,0003
l_8^a	0,6024	±0,0002
l_9^a	0,1495	±0,0002
l_{10}^a	0,9342	±0,0002

l_{11}^a	2,0870	±0,0002
l_{12}^a	1,2768	±0,0002
l_{13}^a	0,6606	±0,0002
l_{14}^a	0,7519	±0,0002

As altitudes ajustadas das RRNN são obtidas, somando-se os respectivos desníveis ajustados, independentemente do “caminho percorrido”:

$$H_B = H_A - l_1^a$$

$$H_C = H_A - l_1^a - l_2^a$$

$$H_D = H_A - l_4^a$$

$$H_E = H_A - l_4^a - l_6^a$$

$$H_F = H_A - l_4^a - l_8^a$$

$$H_G = H_A - l_4^a - l_8^a - l_9^a$$

$$H_H = H_A - l_4^a - l_8^a - l_1^a$$

$$H_I = H_A - l_4^a - l_8^a - l_9^a - l_{13}^a$$

A Matriz Covariância das altitudes corrigidas, $\sum H$, é obtida através da propagação nas expressões anteriores, sendo a G a Matriz dos coeficientes, resulta que $\sum H = G \sum L_a G^T$ (m²).

A Tabela 5 apresenta as altitudes ajustadas, calculadas pelas equações descritas acima (em metros).

Tabela 5: Altitudes ajustadas e suas incertezas com nível de confiança de 99,5%

REFERÊNCIA DE NÍVEL	H ^a (m)	INCERTEZAS (m)
MRN0002(H_b)	46,82840	±0,0001
MRN0001(H_c)	42,69633	±0,0001
RN-SB(H_d)	47,03758	±0,0001
RN-E18(H_e)	45,56069	±0,0003
RN-SC(H_f)	46,43514	±0,0002
RN-SF(H_g)	46,28558	±0,0002
RN-IC(H_h)	44,34809	±0,0003
RN-PDA(H_i)	45,62494	±0,0003

Todas as incertezas foram abaixo da casa do milímetro (mm). A precisão do levantamento é bastante alta, podendo-se afirmar que é um exagero o emprego do Nível Digital DNA-

03, seguido do ajustamento por MMQ para a finalidade proposta. Ressalta-se que a rede altimétrica implantada atende também a outras finalidades justificando-se o emprego de um nível de precisão muito alta.

4.3.2 Método do nivelamento geométrico de precisão média

No dia 17/09/2013, foi realizado o nivelamento geométrico de outra rede altimétrica com o Nível Analógico AT-B4 da Topcon e mira de alumínio extensível de 2m interligada à rede altimétrica anteriormente descrita através das Referências de Nível RN-SB (H_D), RN-E18 (H_E). Após a avaliação da rede altimétrica implantada com o Nível Digital DNA-03, e tendo em vista que no momento da medição da rede de nivelamento com o Nível Digital os vértices P01, P02 e P03 não haviam sido implantados, concluiu-se que o emprego do Nível Analógico AT-B4 poderia atender a finalidade proposta.

A segunda rede altimétrica é composta por 5 (cinco) referências de nível (RRNN), denominadas, RN-SB, P01, P02, RN-E18 e P03 (Figura 4), materializadas por pinos metálicos cravados no meio fio de uma quadra edificada, localizada no Centro Histórico de João Pessoa, na Avenida General Osório. As altitudes ajustadas das referências de nível, RN-SB e RN-E18, determinadas no nivelamento realizado com Nível Digital (Tabela 5) foram consideradas como referência para a determinação das altitudes das RRNN P01, P02 e P03.

A rede de nivelamento realizada com o Nível AT-B4 teve como objetivo determinar as coordenadas altimétricas dos vértices da poligonal apoiada, que servem de apoio para a determinação das coordenadas altimétricas dos pontos de limites e pontos de detalhes de fachadas, que descrevem as edificações prediais.

A execução do nivelamento geométrico dos pontos de referência fez no total 2 (dois) circuitos fechados, compostos por 6 (seis) linhas de nivelamento geométrico. A Figura 4 e a Tabela 6 mostram os circuitos da rede de nivelamento.

A Tabela 6 apresenta o erro de fechamento e o perímetro dos 2 (dois) circuitos independentes nivelados e representados na Figura 4.

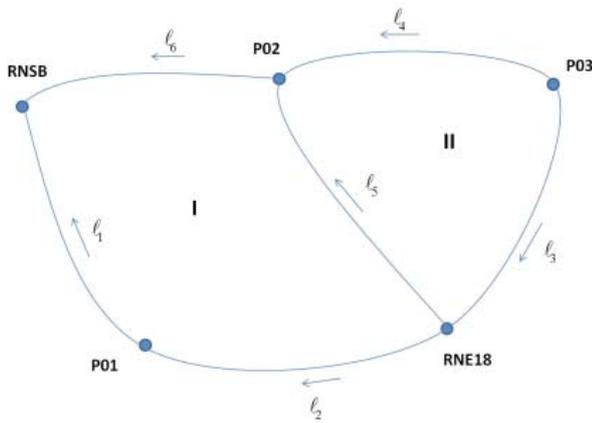


Fig. 4 - Circuitos de nivelamento geométrico ao longo da Avenida General Ozório.

Tabela 6: Erro de fechamento e perímetro dos circuitos nivelados

CIRCUITO	LINHAS	PERÍMETRO (km)	ERRO DE FECHAMENTO(m)
I	l_1, l_2, l_5 e l_6	0,4057	-0,002
II	l_3, l_4 e l_5	0,2906	0,002

4.3.2.1 Ajustamento das observações

Para o ajustamento da rede de nivelamento utilizou-se como observações as diferenças de nível (ΔH) apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Diferenças de nível entre as RRNN e respectivas linhas de nivelamento

SAÍDA	CHEGADA	$\Delta H(m)$	Linha	COMPRIMENTO DA LINHA (km)
RN-SB	P01	0,186	l_1	0,0741
P01	RN-E18	1,291	l_2	0,1298
RN-E18	P03	2,376	l_3	0,0784
P03	P02	3,507	l_4	0,1394
P02	RN-E18	1,129	l_5	0,0728
RN-SB	P02	0,346	l_6	0,1290

De forma análoga à apresentada anteriormente, para o ajustamento dos pontos de referência RRNN P01, P02 e P03 foi adotado o MMQ - modelo paramétrico.

Nos 6 (seis) desníveis medidos, as linhas de nivelamento geométrico envolveram cinco RRNN, sendo as altitudes MRN0002, RN-SB e RN-E18 consideradas fixas e as demais consideradas como incógnitas. Resulta assim, 6 (seis) equações de observação e 3 (três) graus de liberdade. As equações de observação transformadas são expressas por:

$$HRN_SB - HP01 = l_1 + v_1$$

$$HP01 - HR_NE18 = l_2 + v_2$$

$$HR_NE18 - HP03 = l_3 + v_3$$

$$HP02 - HP03 = l_4 + v_4$$

$$HP02 - HR_NE18 = l_5 + v_5$$

$$HRN_SB - HP02 = l_6 + v_6$$

Para o cálculo da variância da unidade de peso unitário a priori, σ_0^2 , foi considerada a tolerância altimétrica do nível AT-B4, $\sigma_i = 2mm\sqrt{k_i}$, resultando, $\sigma_0^2 = \sigma_i^2 = 4 \times 10^{-6} \times k_i$, similar ao ajustamento anterior.

Neste ajustamento estimou-se uma variância da observação de peso unitário a posteriori, com valor de $\hat{\sigma}_0^2 = 5 \times 10^{-7}$

4.3.2.2 Análise da qualidade do ajustamento

A análise da qualidade do ajustamento foi realizada de forma análoga ao item 4.3.1.2. Para 3 (três) graus de liberdade, o valor para χ_c^2 calculado é 0,375. Portanto, o teste não é rejeitado ao nível de confiança de 99,5%, sendo $\chi_{(3;0,995)}^2 = 12,84$, pois $\chi_c^2 > \chi_{(3;0,005)}^2 = 0,07$ e $\chi_c^2 = 0,375 < \chi_{(3;0,995)}^2 = 12,84$. O teste também é aceito ao nível de confiança de 95%, $\chi_c^2 > \chi_{(3;0,025)}^2 = 0,22$ e $\chi_c^2 = 0,375 < \chi_{(3;0,975)}^2 = 9,35$.

Assim, como no ajustamento anterior, a hipótese nula H_0 também não é rejeitada ao nível de significância de 0,5% e 5%, respectivamente.

Os resíduos com suas respectivas incertezas são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Resíduos e suas respectivas incertezas

RESÍDUOS	VALORES DOS RESÍDUOS (m)	INCERTEZAS (m)
v_1	0,0000	$\pm 7,7459 \times 10^{-4}$
v_2	0,0000	$\pm 4,7722 \times 10^{-4}$
v_3	-0,0003	$\pm 6,3224 \times 10^{-4}$
v_4	0,0001	$\pm 3,1622 \times 10^{-4}$
v_5	-0,0014	$\pm 8,3666 \times 10^{-4}$
v_6	-0,0005	$\pm 5,4772 \times 10^{-4}$

As observações ajustadas são dadas na Tabela 9.

Tabela 9: Desníveis ajustados e respectivas incertezas

OBSERVAÇÕES AJUSTADAS	$\Delta H^a(m)$	INCERTEZAS (m)
l_1^a	0,1860	$\pm 5,4772 \times 10^{-4}$
l_2^a	1,2910	$\pm 5,4772 \times 10^{-4}$
l_3^a	2,3756	$\pm 6,3224 \times 10^{-4}$
l_4^a	3,5072	$\pm 5,4772 \times 10^{-4}$

l_5^a	1,1275	$\pm 5,4772 \times 10^{-4}$
l_6^a	0,3454	$\pm 5,4772 \times 10^{-4}$

As altitudes ajustadas das RRNN são obtidas, substituindo-se os desníveis nas equações de observação.

$$HP01 = HR_NSB - l_1^a$$

$$HP02 = HR_NSB - l_6^a$$

$$HP03 = RN_E18 - l_3^a$$

Posteriormente, calcula-se a Matriz Covariância das altitudes corrigidas, $\sum H$ e as altitudes ajustadas, estas calculadas pelas equações anteriores, são dadas na Tabela 10.

Tabela 10: Altitudes ajustadas e suas incertezas com nível de confiança de 99,5%.

REFERÊNCIA DE NÍVEL	H ^a (m)	INCERTEZAS (m)
P01	46,8485	$\pm 5,4772 \times 10^{-4}$
P02	46,6921	$\pm 5,4772 \times 10^{-4}$
P03	43,1850	$\pm 6,3224 \times 10^{-4}$

4.4 Medição e processamento dos pontos de referência determinados com o método de posicionamento GNSS Relativo Estático

Como objetivo de determinar as coordenadas plano-retangulares UTM SIRGAS2000 de 9 pontos de referência, denominados MRN0001, MRN0002, RN-E18, RN-SB, RN-SC, RN-SF, RN-IC, RN-PDA e P03, cujas coordenadas altimétricas foram determinadas (item 4.3), realizou-se vários experimentos utilizando o método de posicionamento GNSS Relativo Estático. De acordo com Monico (2008) este método apresenta acurácia entorno de 1,0 a 0,1ppm ou melhor que isso.

O ajustamento dos dados GNSS foi realizado com a probabilidade de 95%, conforme preconiza a norma norte americana, conforme (USDA e USDI, 2001).

4.4.1 Medição

As coordenadas geodésicas dos pontos de referência MRN0001 e MRN0002 foram determinadas utilizando receptores GNSS Hiper Lite Plus de dupla frequência, ocupados em campanhas de levantamento realizadas em dias distintos. No primeiro dia de rastreamento GNSS

(04/07/2013), os pontos de referência MRN0001 e MRN0002 foram ocupados por um período de duração de 4h e 23min, com rastreamento simultâneo. No segundo dia de rastreamento (12/07/2013), apenas o marco MRN0001 foi ocupado por um período de 6h e 28min. No terceiro dia de ocupação (13/07/2013) o marco MRN0002 foi ocupado por um período de 6h e 45min.

A Figura 5 mostra a ocupação dos receptores GNSS nos marcos MRN0001 e MRN0002.



Fig. 5 - Ocupação GNSS dos marcos MRN0001 e MRN0002. Foto: Julho de 2013.

Foram realizados os processamentos para as três campanhas de rastreamento GNSS, adotando como referências as estações RECF, PBCG e RNNA da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) mais próximas da área de trabalho (aproximadamente 130 km). Para o primeiro dia de rastreamento as coordenadas dos marcos MRN0001 e MRN 0002 foram processadas a partir de três estações de referência RECF, PBCG e RNNA, da RBMC, com distância aproximadamente de 130km para os marcos. As acurácias planimétricas para os marcos MRN 0001 e MRN 0002 são, respectivamente, 0,035m e 0,0454m. Para o segundo e o terceiro dia de rastreamento o processamento e ajustamento das coordenadas geodésicas foram realizados a partir das estações de referência RECF e RNNA da RBMC. Para estes processamentos utilizou-se efemérides precisas. As acurácias planimétricas encontradas foram de 0,0453m para o marco MRN0001 e 0,053m para o marco MRN0002. Estes resultados são apresentados em Gama *et al.*, (2013).

A acurácia posicional do marco MRN 0002 não atende a tolerância posicional de $\pm 0,05m$ estabelecida para pontos de referência. Apesar das demais acurácias posicionais atenderem a tolerância posicional adotada, considerando que estas serão propagadas para os pontos de referência RN-E18, RN-SB, RN-SC, RN-SF,

RN-IC, RN-PDA e P03, utilizando o GNSS, e destes propagados por métodos topográficos para os pontos P01, P02 e I1, adotados como referência para a determinação posicional dos pontos de limites e detalhes da parcela territorial, optou-se por realizar novas medições, com o intuito de melhorar a acurácia posicional dos pontos de referência MRN0001 e MRN0002. A quarta campanha de rastreamento GNSS foi realizada no dia 18/07/2013. Desta vez, a ocupação dos marcos foi realizada por um período de 2h, adotando a estação de referência (92442) da rede passiva do IBGE, localizada próximo à área de trabalho (aproximadamente 3 km) no IFPB.

4.4.2 Processamentos GNSS e Análise dos resultados

Neste trabalho são apresentados os processamentos dos dados GNSS, coletados em 18/07/2013 (quarta campanha de rastreamento). Os dados foram processados no Sistema de Referência SIRGAS2000.

A Tabela 11 apresenta os desvios padrão e acurácia planimétrica das coordenadas das estruturas geodésicas MRN0001 e MRN0002, adotando a estação de referência 92442.

Tabela 11: Desvios padrão e acurácias planimétricas dos marcos MRN0001 e MRN0002 adotando a estação de referência 92442

PONTO	σ_{φ} (m)	σ_{λ} (m)	ACURÁCIA POSICIONAL (m)
MRN0001	0,0060	0,0060	0,0085
MRN0002	0,0060	0,0060	0,0085

Observa-se na Tabela 11 que as acurácias posicionais dos pontos de referência, adotando a estação 92442 são iguais a 0,0085m para ambos os pontos.

Com a operacionalidade da estação de referência PBJP da RBMC de agosto de 2013, na cidade de João Pessoa, os dados do quarto dia de rastreamento foram processados com relação a esta estação. Vê-se na Tabela 12, que os desvios padrão e as acurácias posicionais planimétricas alcançadas para os pontos MRN0001 e MRN0002 (pontos de referência) são iguais a 0,0036m, valor ainda melhor que o valor obtido na análise utilizando-se como referência a estação 92442, citada anteriormente.

As acurácias posicionais encontrados para as duas estratégias de processamento dos

dados GNSS (Tabelas 11 e 12), são superiores a 0,0085m, e, portanto, melhores que $\pm 0,05m$, acurácia posicional planimétrica de pontos de referência estabelecida pela norma norte americana, conforme USDA e USDI (2001).

Os valores encontrados para as duas estratégias de processamento dos dados GNSS dos pontos de referência MRN0001 e MRN0002 são inferiores a 0,009m, valor abaixo do proposto neste trabalho, em virtude do Método de Posicionamento GNSS Relativo Estativo empregado, apresentar acurácia entorno de 1,0 a 0,1 ppm ou melhor que isso (MONICO, 2008) e por se tratar de uma área urbana densamente ocupada.

Tabela 12: Desvios padrão e acurácias planimétricas dos marcos MRN0001 e MRN0002 com uso da estação de referência PBJP da RBMC

PONTO	σ_{φ} (m)	σ_{λ} (m)	ACURÁCIA POSICIONAL (m)
MRN0001	0,0020	0,0030	0,0036
MRN0002	0,0030	0,0020	0,0036

Pode-se constatar observando-se as acurácias planimétricas para os pontos de referência MRN0001 e MRN0002, presentes nas Tabelas 11 e 12, que a estratégia de processamento tomando a Estação PBJP como referência apresenta melhores resultados que quando considerada a estação de referência 92442.

As coordenadas plano-retangulares UTM SIRGAS2000 dos pontos de referência MRN0001 e MRN0002, adotando as estações 92442 e PBJP foram comparadas em termos de diferenças de coordenadas e suas respectivas resultantes planimétricas (Tabela 13), observa-se que o menor valor para a resultante planimétrica é 0,013m, a qual se refere ao ponto MRN0002. Ainda conforme a tabela, o vértice MRN0001 apresenta a maior e a menor discrepância, 0,016m e 0,005m, respectivamente, para as componentes Este e Norte.

Tabela 13: Discrepâncias entre as coordenadas plano-retangulares UTM em SIRGAS2000

PONTOS	ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA 92442 E PBJP		
	ΔE (m)	ΔN (m)	RESULTANTE PLANIMÉTRICA (m)
MRN0001	0,005	0,016	0,018
MRN0002	0,007	0,011	0,013

A quarta campanha de rastreamento GNSS apresenta os melhores resultados em termos de acurácias planimétricas para os pontos MRN0001 e MRN0002, por isso, as coordenadas destes pontos foram utilizadas como referências para a determinação das coordenadas plano-retangulares UTM SIRGAS2000 dos pontos RN-E18, RN-SB, RN-SC, RN-SF, RN-SP, RN-IC e RN-PDA. Estes pontos foram determinados com receptores de dupla frequência, em campanha de levantamento realizada no dia 04/07/2013 e com receptores de uma frequência (L1) Pro Mark 2, em campanha realizada nos dias 12 e 13/07/2013, com as mesmas configurações adotadas para o rastreamento dos marcos MRN0001 e MRN0002. Isto é, máscara de elevação de 13° e taxa de gravação de 5s. O período de ocupação por ponto variou de 30 a 40min por ponto. Estes foram processados no *software Topcon Tools* versão 7.5.1.

As acurácias planimétricas dos pontos de referência resultantes da coleta de dados com receptores de duas frequências (RN-E18, RN-SB, RN-SC, RN-SF, RN-IC, RN-PDA), adotando como referência as coordenadas dos pontos MRN0001 e MRN0002 apresentadas na Tabela 14 possuem valores inferiores a 0,02 m (maior valor 0,0170m) para as coordenadas do ponto RN-IC e menor valor (igual a 0,0071m) para as coordenadas do ponto RN-E18. Estes valores estão em conformidade com a tolerância posicional planimétrica preestabelecida neste trabalho.

Tabela 14: Desvios padrão e acurácias planimétricas dos pontos de referência resultantes da coleta de dados com receptores de dupla frequência

PONTO	σ_{ϕ} (m)	σ_{λ} (m)	ACURÁCIA POSICIONAL (m)
RN-E18	0,005	0,005	0,0071
RN-IC	0,013	0,011	0,0170
RN-PDA	0,009	0,008	0,0120
RN-SB	0,007	0,007	0,0099
RN-SC	0,007	0,008	0,0106
RN-SF	0,008	0,013	0,0153

Com relação ao processamento dos dados GNSS coletados com receptores de uma frequência, também com suas coordenadas determinadas a partir das estações de referência MRN0001 e MRN0002, as acurácias planimétricas encontradas (Tabela 15) apresentam o maior e

menor valor, respectivamente, de 0,0114 m e 0,0050 m, para as coordenadas dos pontos RN-SB e RN-E18. Constatando-se que os valores obtidos também satisfazem à tolerância posicional preestabelecida.

Tabela 15: Desvios padrão e acurácias planimétricas dos pontos de referência resultantes da coleta de dados com receptor de uma frequência (L1)

PONTO	σ_{ϕ} (m)	σ_{λ} (m)	ACURÁCIA POSICIONAL (m)
RN-E18	0,004	0,003	0,0050
RN-IC	0,006	0,004	0,0072
RN-PDA	0,003	0,003	0,0042
RN-SB	0,009	0,007	0,0114
RN-SF	0,008	0,007	0,0106

Com relação aos valores de acurácias planimétricas das Tabelas 14 e 15, os melhores resultados foram encontrados para as coordenadas dos pontos de referência medidas com receptores de uma frequência. Estes também satisfazem à tolerância posicional preestabelecida neste trabalho.

As coordenadas UTM SIRGAS2000 dos vértices RN-E18, RN-SB, RN-SC, RN-SF, RN-SP, RN-IC e RN-PDA determinadas com receptores de uma e duas frequências, L1 e (L1 e L2), respectivamente, foram comparadas entre si e os resultados encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16: discrepâncias entre as coordenadas plano-retangulares UTM em SIRGAS2000 resultantes de receptores de uma e duas frequências

PONTOS	ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA RECF 92442 E JPPB		
	ΔE (m)	ΔN (m)	RESULTANTE PLANIMÉTRICA (m)
RN-E18	0,006	0,007	0,009
RN-IC	0,021	0,019	0,028
RN-PDA	0,005	0,002	0,005
RN-SB	0,009	0,011	0,014
RN-SF	0,021	0,008	0,022

A partir das coordenadas plano-retangulares UTM SIRGAS2000 dos pontos de referência, determinadas pelo Método de Posicionamento Relativo Estático, considerando os pontos de referência MRN0001 e MRN0002, foram calculadas as discrepâncias em Este (E) e Norte (N) e suas resultantes planimétricas, para análise da viabilidade das estratégias adotadas

no levantamento.

O vértice RN-SC não teve solução com receptores de uma frequência, portanto, não teve suas coordenadas comparadas. Analisando os resultados presentes na Tabela 16, nota-se que as coordenadas plano-retangulares UTM SIRGAS2000 apresentam maior discrepância para o ponto RN-IC com valores de 0,021 m para Este e 0,019 m para Norte e resultante planimétrica de 0,028 m. As discrepâncias entre as coordenadas plano-retangulares UTM dos pontos de referência RN-E18, RN-IC, RN-PDA, RN-SB, RN-SF resultantes do processamento dos dados GNSS coletados com receptores de uma e duas frequências obedecem à tolerância preestabelecida, com melhor desempenho para as coordenadas advindas da aquisição de dados com receptores GNSS de uma frequência.

As coordenadas plano-retangulares UTM SIRGAS2000 do ponto P03, foram determinadas no dia 26/09/2013, o tempo de rastreamento utilizado foi de aproximadamente 40 minutos, máscara de elevação de 13° e taxa de gravação de 5s. As coordenadas dos pontos MRN002 e PBJP foram adotadas como referência para este processamento.

O processamento e ajustamento dos dados GNSS foi realizado com uso do *software Topcon Tools 7.5.1*. Os desvios padrão e a acurácias planimétricas das coordenadas plano-retangulares UTM SIRGAS2000 do ponto P03 são dadas na Tabela 17.

Tabela 17: Desvios padrão e acurácia planimétrica das coordenadas do ponto P03.

PONTO	σ_y (m)	σ_x (m)	ACURÁCIA POSICIONAL (m)
P03	0,007	0,008	0,0106

A acurácia planimétrica do ponto P03 com valor de 0,0106m (Tabela 17) também apresenta acurácia compatível com a tolerância posicional preestabelecida.

Em uma análise geral com relação ao conjunto de pontos de referência, as acurácias planimétricas apresentam valores de $\pm 0,0036$ m a $\pm 0,0153$ m, apesar da proximidade destes, com as estações de referência. As explicações que parecem ser pertinentes para estes resultados são: fluxo contínuo de carros na região de estudo e a presença acentuada de edificações na região.

Os valores posicionais de acurácia planimétrica, encontrados para os pontos MRN0001, MRN0002, RN-E18, RN-SB, RN-SC, RN-SF, RN-SP, RN-IC e RN-PDA apresentam valores adequados com a tolerância posicional estabelecida neste trabalho.

4.5 Determinação planialtimétrica dos pontos de referência, de limites e de detalhes medidos com Estação Total

Para a medição dos pontos de referência denominados P01, P02 e I1 e pontos de detalhes, utilizou-se a Estação Total RUIDE, modelo RTS-820. As coordenadas dos pontos de referência foram calculadas no Sistema Topográfico Local e posteriormente, foram transformadas em plano-retangulares UTM SIRGAS2000, conforme preconiza a Norma da ABNT: NBR 14.166/1998. O método de medição utilizado para a determinação das coordenadas planimétricas dos pontos P01 e P02 foi o método da poligonização com centragem forçada (KAHMEN, 2005). As coordenadas do ponto I1 foram determinadas pelo o método da interseção a ré (ERBA *et al.*, 2005) e para a determinação das coordenadas dos pontos de detalhes (pontos-objeto) utilizou-se o método da interseção a vante (KAHMEN, 2005).

O teste estatístico (χ^2 Qui-Quadrado) foi realizado com a probabilidade de 95%.

4.5.1 Método da poligonização

A poligonização é um dos métodos aplicados para determinar coordenadas de pontos, principalmente pontos de apoio planimétricos. Uma poligonal consiste em uma série de linhas consecutivas, onde são conhecidos os comprimentos e direções, obtidos através de medições em campo.

A Figura 6 é um exemplo da poligonal apoiada em quatro pontos MRN0002, RN-SB, RN-E18 e P03 de coordenadas conhecidas realizada neste trabalho.

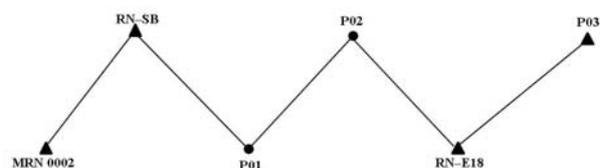


Fig. 6 - Poligonal apoiada.

O levantamento foi realizado no dia 06/09/2013, aplicando-se a técnica de medição dos pares conjugados com duas séries de leituras de ângulos e distâncias nas posições direta (PD) e inversa (PI).

As coordenadas plano-retangulares UTM em SIRGAS2000 dos pontos de referência MRN0002, RN-SB, RN-E18 e P03 foram utilizadas como referência para o controle da poligonal apoiada. Antes dos cálculos das coordenadas dos vértices da poligonal foram determinadas as médias das distâncias horizontais, ângulos horizontais e verticais.

As coordenadas dos pontos P01 e P02 foram processadas e ajustadas no *software DataGeosis Office versão 7.5.7.2*, com o uso do MMQ. A Tabela 18 mostra os desvios padrão e as acurácias planimétricas dos pontos P01 e P02. Os pontos MRN0002, RN-SB, RN-E18 e P03 foram fixados para a determinação dos pontos de coordenadas P01 e P02.

Tabela 18: Desvios padrão e acurácias planimétricas

PONTO	σ_E (m)	σ_N (m)	ACURÁCIA PLANIMÉTRICA (m)
P01	0,000	0,000	0,000
P02	0,014	0,040	0,042

Tomando as acurácias planimétricas da Tabela 18, observa-se que o maior valor é encontrado para P02 (0,042 m). Este valor, mesmo atendendo a tolerância estabelecida, é considerado elevado se comparado com a acurácia posicional do ponto P01, com valor zero. A explicação que parece pertinente para este resultado foi às dificuldades para realizar as visadas do ponto P02 para os pontos P01 e P03, ocasionadas pelo fluxo de pessoas e carros.

4.5.2 Método da interseção a ré

O método da interseção à ré a partir de dois pontos é utilizado quando não é possível estacionar o instrumento sobre pontos de coordenadas conhecidas (P01 e RN-SB), a partir dos quais se pretende determinar as coordenadas do ponto desconhecido (I1). O instrumento é estacionado em I1 e mede-se a distância (D_{I1-P01}) e o ângulo (α). A Figura 7 representa o método da interseção à ré aplicado.

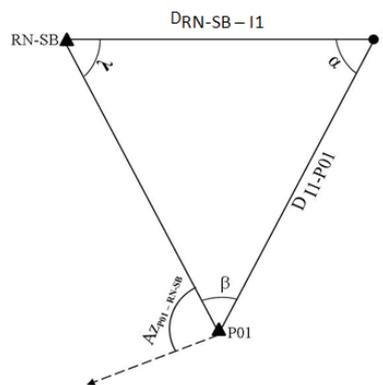


Fig. 7 - Método da interseção a ré a partir de dois pontos. Fonte: Adaptado de Erba *et al.*, (2005).

As medições de ângulos e distâncias para este método foram realizadas no dia 06/09/2013, utilizando a técnica dos pares conjugados fazendo-se uma série de leituras com visadas nas posições direta e inversa. As coordenadas dos pontos RN-SB e P01 foram utilizadas como referência. O ponto I1 teve suas coordenadas calculadas aplicando-se o método da interseção a ré. As coordenadas determinadas também foram ajustadas pelo Método dos Mínimos Quadrados em um aplicativo desenvolvido em Planilha do *Microsoft Office Excel*.

A Tabela 19 apresenta os desvios padrão e a acurácia planimétrica das coordenadas do ponto I1.

Tabela 19: Desvios padrão e acurácia das coordenadas do ponto I1, determinadas pelo método da interseção a ré

PONTO	σ_ϕ (m)	σ_λ (m)	ACURÁCIA PLANIMÉTRICA (m)
I1	0,0129	0,0201	0,0239

A acurácia posicional do ponto I1 com valor de 0,0239 m, conforme mostra a Tabela 19, apresenta valor adequado com a tolerância posicional estabelecida para pontos de referência utilizando métodos topográficos de medição.

4.5.3 Método da interseção a vante

Para obter as coordenadas dos pontos limites e detalhes da fachada para a representação de uma edificação predial, pode-se empregar o método da interseção a vante com a utilização de estação total. Este método pode ser aplicado a partir de dois pontos de referência (A e B) com

coordenadas X e Y (Figura 8) para determinar as coordenadas de pontos de interesse, podendo este ser chamado de P.

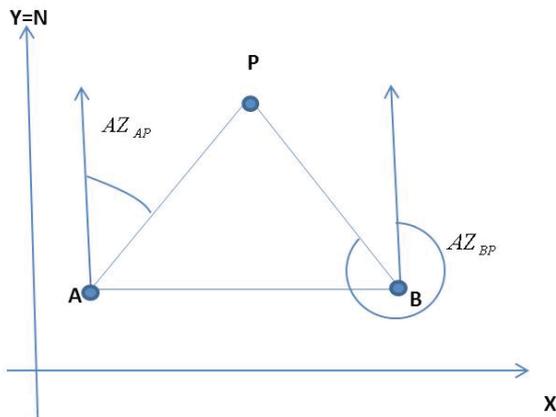


Fig. 8 - Método da interseção a vante. Fonte: Adaptado de Erba *et al.*, (2005).

Para isso é necessário medir os ângulos internos \hat{PAB} e \hat{ABP} , e os azimutes AZ_{AP} e AZ_{BP} .

Estabelecidos os pontos de referência, iniciou-se a fase seguinte do trabalho, com a determinação dos pontos de detalhes da fachada, que representam as edificações, medindo-se ângulos horizontais e verticais e distâncias inclinadas, com a estação total operando no modo de leitura sem prisma. As distâncias horizontais foram calculadas em planilhas do *software Microsoft Office Excel*. A Figura 9 representa a Casa 66, a qual integra o acervo histórico da Avenida General Ozório.

Os pontos da Casa 66, de limites (L1, L14, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L13) e pontos de detalhes (D1, D2, D5, L2, D4, D7, D8, D9, D10, D12) são representados na Figura 9.



Fig. 9 – Representação geométrica dos pontos de detalhes da Casa 66.

As medições ocorreram no dia 26/09/2013, aplicando-se o método da interseção a vante, utilizando duas estações totais operando simultaneamente. Este levantamento foi realizado adotando os pontos I1 e P01 como referência.

A Figura 10 mostra a geometria do método da interseção a vante, exemplificando, a medição do ponto de limite L1.



Fig. 10 – Representação geométrica do método da interseção a vante.

Para o cálculo das coordenadas utilizando o método da interseção a vante foram empregadas as equações descritas em Erba *et al.*, (2005). O ajustamento foi realizado pelo MMQ.

A Tabela 20 mostra os desvios padrão e as acurácias planimétricas das coordenadas ajustadas.

Tabela 20: Desvios padrão e acurácias planimétricas de pontos de limites e detalhes

PONTOS	σ_e (m)	σ_N (m)	ACURÁCIA PLANIMÉTRICA (m)
L1	0,0529	0,0485	0,0718
D1	0,0481	0,0395	0,0622
D6	0,0381	0,0261	0,0462
L14	0,0060	0,0017	0,0062
D2	0,0482	0,0393	0,0622
D3	0,0324	0,0197	0,0379
D5	0,0376	0,0253	0,0453
D7	0,0256	0,0134	0,0289
D8	0,0039	0,0294	0,0297
D10	0,0071	0,0017	0,0073
L2	0,0376	0,0253	0,0453
L3	0,0322	0,0195	0,0376
L4	0,0317	0,0191	0,0370
L5	0,0189	0,0075	0,0203
L6	0,0188	0,0075	0,0202
L7	0,0167	0,0059	0,0177
L8	0,0162	0,0056	0,0171
L9	0,0103	0,0023	0,0106
L12	0,0088	0,0019	0,0090
L13	0,0061	0,0017	0,0063

Fazendo-se uma análise acerca dos valores de acurácias planimétricas das coordenadas dos pontos de limites e detalhes presentes na Tabela 20, nota-se que estes são menores que 0,0718m. Estes estão de acordo com a tolerância posicional de $\pm 0,10$ m adotada no trabalho.

5.5.4 Método do nivelamento trigonométrico

Caracteriza-se como nivelamento trigonométrico a transferência altimétrica realizada por meio de medições de ângulos zenitais e de distâncias inclinadas e/ou reduzidas ao horizonte. O nivelamento trigonométrico pode ser abordado envolvendo distâncias curtas e distâncias longas. A equação matemática para o cálculo dos desníveis e mais informações sobre o mesmo são encontradas em Kahmen (2005).

O nivelamento trigonométrico foi empregado para a determinação da altitude do ponto II, tendo-se a altitude do ponto RN-SB como referência. As altitudes dos pontos de limites e detalhes da Casa 66 foram determinadas a partir da altitude dos pontos II e P01 e depois retiradas as médias.

Os dados utilizados no nivelamento trigonométrico foram coletados por interseção a ré e interseção a vante (item 4.5.2 e 4.5.3).

As coordenadas altimétricas do ponto II e dos pontos de limites e detalhes não foram ajustadas, por isso não são mostradas neste trabalho.

5.5.5 Análise dos resultados

Com relação ao processamento e ajustamento da poligonal, observa-se na Tabela 18 que a acurácia planimétrica é menor para as coordenadas do ponto P02, com valor de 0,042m e maior para as coordenadas do ponto P01 com valor igual a zero. A acurácia do ponto P2 pode ter sido influenciada pelas dificuldades de visadas que se teve deste, P02, para os pontos P01 e RN-E18, devido ao fluxo contínuo de carros e pessoas em movimento no momento das medições. O valor da acurácia planimétrica dos pontos P01 e P02 estão em conformidade com a tolerância estabelecida, de $\pm 0,05$ m para pontos de referência determinados por métodos de medição topográfica.

A mesma tolerância é igualmente aplicada para as coordenadas do ponto II, determinadas por interseção a ré a partir de dois pontos (Tabela

19). Neste método, a acurácia planimétrica obtida, 0,0239m, também corresponde a esta tolerância.

Analisando os valores de acurácias planimétricas das coordenadas dos pontos de limites e detalhes (Tabela 20), verifica-se que a menor e a maior acurácia, respectivamente são 0,0062 e 0,0718 para os pontos L14 e L1.

Os valores de acurácias planimétricas encontradas para as coordenadas dos pontos de referência (P01, P02) e II, medidos com estação total, apresentaram valores maiores que 0,042m. Já para os pontos de limites os valores encontrados apresentaram acurácias menores que 0,0718m.

Em uma análise geral, os valores das acurácias posicionais das coordenadas de pontos de referência, de limites e de detalhes estão em conformidade com estudos já realizados no Brasil, com a legislação aplicada ao levantamento cadastral (item 2) e com a tolerância posicional preestabelecida de $\pm 0,05$ m (pontos de referência) e $\pm 0,10$ m (pontos de limites e detalhes) neste trabalho.

6. CONCLUSÕES

Os pontos de referência implantados com coordenadas planimétricas e altimétricas determinadas pelos métodos de Nivelamento Geométrico, de Posicionamento GNSS Relativo Estático, da Poligonação e da Interseção a Ré, materializam neste trabalho, pontos que servem de padrões de referência altimétrica e planimétrica para a determinação da acurácia posicional de pontos de referência, em levantamentos cadastrais de parcelas territoriais de áreas urbanas densamente ocupadas.

O ajustamento das coordenadas planimétricas e altimétricas foi realizado pelo Método dos Mínimos Quadrados, utilizando o modelo paramétrico. De acordo com os testes de hipóteses realizados, verificou-se que o ajustamento destes pontos está dentro do intervalo de confiança estabelecido pela distribuição Qui-Quadrado ao nível de significância igual a 0,5% e 5%, isto é, em 99,5% e 95% de confiança (para as coordenadas altimétricas) e ao nível de significância igual a 5%, isto é, em 95% para as coordenadas planimétricas.

Com relação à determinação das coordenadas planimétricas dos pontos de

referência MRN0001 e MRN0002, tratando-se de uma área densamente ocupada, os resultados mostraram que o emprego de estações de referência situadas a aproximadamente 130 km dos vértices de interesse se torna inviável, devido ao dispendioso tempo de rastreamento na ocupação dos pontos de referência, neste trabalho superior a 4 horas, apesar de se atender a tolerância posicional de $\pm 0,05\text{m}$ preestabelecida para pontos de referência, na primeira e segunda campanha de rastreamento.

Tratando-se dos pontos de referência RN-E18, RN-SB, RN-SC, RN-SF, RN-SP, RN-IC e RN-PDA, a melhor solução foi para as coordenadas advindas da aquisição de dados com receptores GNSS de uma frequência (Tabela 16), comparadas com as coordenadas resultantes do processamento dos dados GNSS coletados com receptores de dupla frequência. Estas estratégias atendem a tolerância posicional estabelecida de $\pm 0,05\text{m}$, para a acurácia posicional na definição de coordenadas de pontos de referência utilizando o GNSS.

Os pontos de referência implantados no Centro Histórico de João Pessoa auxiliarão em políticas de gestão de patrimônio histórico, no que concerne a caracterização geodésica das parcelas territoriais e representação tridimensional destas. Estes poderão beneficiar estudos desenvolvidos por algumas instituições como: IFPB, UFPE, UFPB, Prefeitura Municipal de João Pessoa, IPHAN, IFAEP (Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico do Estado da Paraíba) e Defesa Civil.

O Princípio da Vizinhança Geodésica e a homogeneização de levantamentos de parcelas territoriais urbanas envolvem a utilização de métodos geodésicos e topográficos propícios à aquisição de observações, e ajustamento das mesmas e levam a representação da real geometria da parcela. Neste trabalho, trata-se de edificações prediais. Por estes motivos, foram aplicados métodos de levantamentos e procedimentos em campo para a realização do controle de qualidade em medições cadastrais de pontos de referência, limites e detalhes, com vista ao estabelecimento de padrões de acurácia posicional que garantissem a homogeneização dos levantamentos.

Os pontos de referência são classificados na Norma de Georreferenciamento de Imóveis

Rurais, em pontos de apoio básico e imediato. No entanto, sem legislação específica para o cadastro urbano no Brasil, neste trabalho, adotam-se estas mesmas terminologias. Porém, não se referindo às suas tolerâncias posicionais. Com base nos resultados obtidos conclui-se que, para pontos de apoio básico recomenda-se uma tolerância de $\pm 0,03\text{m}$ e para pontos de Apoio Imediato uma tolerância posicional de $\pm 0,05\text{m}$.

Com relação à medição de pontos de limites e detalhes em parcelas territoriais urbanas, pode ser adotada uma tolerância posicional planimétrica de $\pm 0,08\text{m}$.

Os valores de tolerâncias posicionais acima recomendados atendem o que preconiza o Código Civil quando afirma, que a acurácia de dimensões e extensões dos imóveis deve ser maior que 1:20 (ou 5%) do total da área. Considerando esta porcentagem a cerca de pontos de limites, alguns estudos recomendam que pontos de limites devem ser determinados com acurácia posicional planimétrica inferior a $\pm 0,10\text{m}$. Neste trabalho atingiu-se resultados melhores que este.

Com relação à definição da tolerância posicional altimétrica para pontos de referência, as incertezas encontradas para as coordenadas altimétricas dos pontos de referência são maiores que $0,001\text{m}$. As coordenadas altimétricas apresentaram acurácia posicional melhor que a tolerância altimétrica estabelecida pela norma NBR 13.133/1994 e pela Resolução - PR nº 22/1983 para nivelamento geométrico, respectivamente, maiores que $12\text{mm}\sqrt{K}$ e $2\text{mm}\sqrt{K}$.

O controle de qualidade no levantamento geodésico e topográfico, a partir de instrumentação de alta precisão, e métodos de medição que possibilitam o ajustamento das observações pelo MMQ é fundamental para garantir a homogeneização dos levantamentos cadastrais de parcelas territoriais, proporcionando a determinação inequívoca dos pontos de limites e garantindo a representação da real geometria da parcela.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE pelo emprego do Nível Digital DNA-03 (Leica) e mira de invar com código de barras.

A Pró-Reitoria de Pesquisa pela concessão

de bolsa para a realização do projeto de Pesquisa e Inovação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Edital nº 13/2012, Expansão da Estrutura Geodésica Fundamental na Cidade de João Pessoa-PB. E à Coordenação de Transportes pela concessão de veículo para a realização dos trabalhos de campo.

Ao CNPQ pela realização do Projeto A Contribuição da Geodésia Aplicada para a Discretização de Edificações Prediais, edital CNPq/VALE S.A Forma – Engenharia nº 05/2012, processo nº 444548/2012-3, recurso financeiro disponibilizado e pelas bolsas ITI-B e ATP-B.

Aos professores do Laboratório de Fabricação Mecânica do IFPB, Josevaldo Barbosa da Silva, Laurivan da Silva Diniz e Walter Macêdo Lins Fialho, pela fabricação dos pinos e sapatas utilizados na pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT: NBR-13.133. **Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos.** 1994. 35 p.

ABNT: NBR 14.166. **Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento.** Rio de Janeiro. 1998. 23p.

ABNT: NBR 14.645. Elaboração do “Como Construído” para Edificações *as built*. Parte 1: **Levantamento Planimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25000m², para fins de estudos, projetos e edificações.** Rio de Janeiro. 2001. 10p.

ABNT: NBR - **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais,** Ministério do Desenvolvimento Agrário-MDA, INCRA. Aplicada à Lei 10.267. 81P.

BAARDA, W. A testing procedure for use in geodetic networks. Netherlands Geodetic Commission. **Publications on Geodesy.** Série 2. N. 5. Delft, Netherlands, 1968, 97p.

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. 129.

BRASIL. Lei 3071/1916 - **Código Civil Brasileiro.** 1916. 169p.

BARROS, E. R. O.; CARNEIRO, A. F. T. Uma Proposta de Controle de Qualidade de Informações Cadastrais de Imóveis Rurais. **Revista Brasileira de Cartografia,** Nº 65/2, p. 265-581, 2013.

DREWES, H.; SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; FREITAS, S. R. C. **Documento técnico sobre o sistema de referência vertical para a América do Sul.** SIRGAS, Boletim Informativo nº 6, 1998, p.23-31.

ERBA, D. A. (ORG.); THUM, A. B.; SILVA, C. A. U. de; SOUZA, G. C. de; VERONZ, M. R.; LENADRO, R. F.; MAIA, T. C. B. **Curso de Topografia para estudantes de Engenharia, Arquitetura e Geologia.** Capítulo: Levantamentos Planialtimétricos. Editora Unisinos, 2005. V-1 a V-35.

FIG. **Information Leaflet.** International Federation of Surveyors. 2001. Disponível em: <http://www.fig.net/figtree/general/leaflet.htm>. Acesso em: 02 set. 2001.

FIG. **Statement on the Cadastre.** International Federation of Surveyors, FIG Bureau, Canberra, Australia. 1995. 14p.

FRASER, C. S. **Least-Squares & Network Analysis.** Class Notes. University of Melbourne. Australia, 2003.

GAMA, L. F.; SEIXAS, A. de; TENÓRIO, B. Implantação e Interligação de Campo de Pontos Planimétrico de Referência para o Georreferenciamento de Estruturas Arquitetônicas. **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação.** Recife. 2008. 9p.

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. 221p.

GAMA, L. F.; SEIXAS, A. de; SOUZA, A. M. B. de. Implantação e Análise de Estruturas

- Geodésicas Planimétricas Obtidas por GPS e Estação Total: Aplicações em Levantamentos Cadastrais Urbanos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº. 64/2, p. 227-247, 2012.
- GAMA, L. F.; SEIXAS, A.; SILVA, E. V.; MARQUES, M. P.; ARAUJO, M. G. Análise de Estruturas Geodésicas Planimétricas Medidas com GNSS de Uma e Dupla Frequência. In: **VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2013, Curitiba. 2p.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de Observações**: Aplicações Geodésicas. Curitiba. Editora UFPR. 1994. 319p.
- GHILANI, C. D. **Adjustment computations: spatial data analysis**. 5th ed. Hoboken, New Jersey. Published by John Wiley & Sons, Inc., 647 p. 2010.
- IBGE. Resolução - PR nº 22, de 21 jul. 1983 - **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**, 1983. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 02 jul. 2011. 36p.
- LOND, M. D. Standard, 2002. Standards and Guidelines for Cadastral Surveying Using Global Positioning System Methods. **FIG XXII International Congress**. Disponível em: www.fig.net. Acesso em: 18 nov. 2006.
- MORAES, C. V. Caracterização de Estremas no Espaço Geométrico: Fundamentos Jurídicos e Geodésicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº. 53, p. 1-15, 2001.
- PARMA, G. C.; GALDINO, C. A. P. M.; NETO, M. P. S.; PHILIPS, J. Propagação de erros nos levantamentos cadastrais. **COBRAC 2002** · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC Florianópolis. 2002. Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/> Geodesia-online. Acesso em: 03 fev. 2008.
- KAHMEN, H. **Vermessungskunde: Angewandete Geodesie**. 20. Aufl. 2006. 679P.
- MIKHAIL, E. M.; GRACIE, G. **Analysis and adjustment of survey measurements**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1981. 340p.
- MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, p. 469-483, jul. 2009. 15P.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Ed. UNESP. 2008. 476p.
- MONICO, J. F. G.; SILVA, E. F. Controle de Qualidade em Levantamentos no Contexto da Lei nº 10.267 de 28 de agosto de 2001. In: **Série em Ciências Geodésicas**. Vol.3. Curitiba: Ed. Edson Aparecido Mitishita. 2003. 495p.
- ROCHA, G. D. C.; GAMA, L. F.; DE SEIXAS, A.; DIAS, E. R.; CARMO, K. C. **Levantamentos Geodésicos de Edificações Prediais Históricas**. Anais IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife. 2012. 9p.
- SILVA, G. P.; SEIXAS, A. de. Abordagem Geodésica/Topográfica para a Definição do Sistema de Referência para a Locação de Edificações Prediais. **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife – PE, 2014a. p. 355-364.
- SILVA, G. P.; SEIXAS, A. de. Definição do Sistema de Referência para a Locação de Edificações Prediais - Área Experimental: Bairro da Madalena, Recife – PE. **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife – PE, 2014b. p.46 – 472.
- SOUZA, A. M. B. **Análise e comparação de estruturas geodésicas tridimensionais definidas por métodos planialtimétricos de medição**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE. Recife. 2012. 223p.
- TINEM, N. **Fronteiras, Marcos e Sinais**. Leituras das ruas de João Pessoa. 1ª. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2006. v. único. 304p.
- 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 Management. 2001. Disponível em: www.fgnet.net. Acesso em: 08 nov. 2006. 19p.

VITAL, M. D. A. Revitalização do Centro Histórico de João Pessoa: Discursos e Representações Sociais. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sociologia da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2007. 303p.