

CADASTRO 3D DA CASA DA PÓLVORA COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO DE PATRIMÔNIOS HISTÓRICOS

Gilmara Dannielle de Carvalho Rocha - IESP - (rochagdc@gmail.com)

RESUMO

O IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, desde sua criação em 1930, realizou o tombamento de diversos bens culturais, e no estado da Paraíba essa ação de tombamento é relatada desde 1937, quando foram tombados vinte e um bens culturais, entre as edificações temos a Casa da Pólvora. De acordo com visita técnica, essa edificação não dispõe de um plano de gestão baseado em um sistema de informação territorial e que contenha informações referenciadas ao sistema de referência geodésico. A necessidade crescente da informação vertical no cadastro tornou-se evidente, onde são comuns as obras de engenharia abaixo e acima da superfície terrestre. Essa situação não é diferente, nos patrimônios históricos, pois a relevância da execução do cadastro de patrimônios não envolve somente do levantamento da documentação histórica, mais a representação cartográfica, contendo informações precisas dos limites e detalhes contidos na estrutura física da edificação, com o intuito de registrar de forma fiel e espacializada as geometrias, em relação ao Sistema de Referência Geodésico. Pensando nisso foi aplicado diferentes métodos terrestres de medição geodésica para determinar as coordenadas dos pontos de detalhes necessários para geração da modelagem tridimensional. Como resultado foi criado o cadastro 3D da Casa da Pólvora no ambiente SIG - Sistema de Informação Geográfico, possibilitando consultas e a geração de mapas temáticos.

Palavras Chave: cadastro 3D, Casa da Pólvora, modelagem 3D, levantamento geodésico

ABSTRACT

The IPHAN - Institute of National Historical and Artistic Heritage, since its inception in 1930, held the toppling of various cultural goods, and in the state of Paraíba this action tipping is reported since 1937, when they were listed twenty-one cultural goods between buildings have the Casa da Pólvora. According to technical visit, this building does not have a management plan based on a territorial information system and contains information referenced to geodetic reference system. The growing need of information in vertical registration became evident, where are the common engineering works above and below the earth's surface. This situation is no different in historic sites, because the relevance of implementing the register of assets not only involves the survey of historical documentation, more cartographic representation, containing accurate information and details of the limits contained in the physical structure of the building, with the intention to register so faithful and spatialized geometries, compared to Geodetic Reference System. Thinking it was applied different methods of measuring land to determine the geodetic coordinates of the points of detail needed for generation of three-dimensional modeling. As a result created the 3D registration of the Casa da Pólvora in GIS - Geographic Information System, enabling queries and thematic maps.

Key-words: 3D cadastre, Casa da Pólvora, 3D modeling, geodetic survey

1 INTRODUÇÃO

A presença do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN na Paraíba tem importância estratégica para o centro histórico da cidade de João Pessoa, desde 1937. Mas foi em 2011 que intensificou o trabalho do IPHAN com o reconhecimento e significado do patrimônio local, resultado de diversos levantamentos arquitetônicos e pesquisas históricas, arqueológicas e iconográficas que possibilitaram rico cadastramento patrimonial (VITAL, 2007).

Na Paraíba, vinte e um bens foram protegidos, pela ação de tombamento promovida pelo Governo Federal, sendo que destes, onze se situam no município de João Pessoa, dentre eles temos a Casa da Pólvora. Atualmente, é do IPHAN a obrigatoriedade de manter o acervo histórico.

Esse patrimônio histórico, de acordo com visita técnica realizada ao IPHAN e Comissão Permanente do Centro Histórico de João Pessoa, não dispõe de um plano de gestão baseado em um sistema de informação territorial, cujas informações das parcelas, devem ser referenciadas a um Sistema de Referência Geodésico e contidas num cadastro territorial atualizado contendo informações referentes à edificação (ROCHA et al, 2011).

Para auxiliar no planejamento e gerenciamento urbano faz-se necessário o município dispor de um sistema de informações territoriais, ou seja, de um cadastro territorial que contemple o maior número de informações possíveis, abrangendo desde as áreas de maior valorização imobiliária a aglomerados urbanos, incluindo também, em seu plano de gestão, as áreas de risco e áreas de preservação de patrimônios históricos. Nenhum plano de gestão, quanto ao planejamento urbano do município, alcançará a eficácia se a prefeitura e outros órgãos no caso do IPHAN não dispuserem de um sistema de informações territoriais baseado em parcela, onde a parcela é o elemento mais importante desse sistema devendo ser conhecida em seus aspectos físicos (representação geométrica) e descritivos (data de construção, informações históricas, estado de conservação e padrão construtivo) (ROCHA et al, 2012).

A maioria dos cadastros territoriais urbanos são planejados e implementados para a representação da superfície física em duas dimensões, ou seja, referem-se à projeção ortogonal dos limites imobiliários das propriedades situadas sobre a superfície terrestre. Com o passar do tempo foi notado a necessidade de representar a realidade atual, onde são comuns as obras de engenharia abaixo e acima da superfície terrestre e a necessidade constante de representar com fidelidade a realidade existente (CARNEIRO et al, 2012).

A necessidade crescente da informação vertical em um cadastro tornou-se evidente. Um sistema de informação territorial completo em três dimensões é uma solução para as situações encontradas no cadastro territorial atual, situações essas citadas em CORREIA (2007), construções sobrepostas (estacionamento subterrâneo), infraestrutura acima e abaixo da superfície (túnel, metrô, apartamentos e passarelas), posição de cabos de energia e tubulações de água e esgoto, patrimônios históricos e áreas de preservação.

Essa situação não é diferente, quando se trata dos patrimônios históricos, pois a relevância da execução do cadastro dessas edificações não envolve somente o levantamento de sua documentação histórica, mais a representação cartográfica, sendo essa representação, por exemplo, uma modelagem tridimensional com informações precisas dos limites e detalhes contidos na estrutura física da edificação, com o intuito

de registrar de forma fiel e especializada as geometrias dos bens culturais, em relação a um Sistema de Referência Geodésico.

A importância da modelagem tridimensional no cadastro territorial de patrimônios históricos é evidente quando observamos a época da criação desses patrimônios, como no caso da Casa da Pólvora que foi construída em 1710 e outros bens culturais construídos em meados do século XVI e XVII.

Modelar e representar a estrutura física em terceira dimensão de uma edificação significa transformar a realidade física existente em realidade gráfica, com informações precisas perante um sistema geodésico de referência. Neste sentido é uma forma de registrar tanto as informações históricas referentes aos bens culturais, como a situação do imóvel atualmente, o estado de conservação, o material de construção, etc.

O presente trabalho tem como objetivo construir um cadastro tridimensional da Casa da Pólvora, utilizando os métodos técnicos ópticos de medição geodésica, sendo o objeto de estudo uma das primeiras edificações tombada pelo IPHAN na década de 1938. Abordando a metodologia realizada para o levantamento geodésico e topográfico até a modelagem e a geração do cadastro em terceira dimensão (3D).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para auxiliar o entendimento do procedimento metodológico desenvolvido durante o trabalho, a Fig. (1) apresenta o fluxograma da metodologia adotada. Foram realizadas visitas técnicas ao IPHAN, Comissão Permanente do Centro Histórico, Biblioteca Central da Universidade Federal da Paraíba – UFPB e no Instituto Histórico e Geográfico Paraibano – IHGP.

Após a coleta de informações do objeto de estudo foi realizado o levantamento geodésico da edificação, a modelagem foi elaborada a partir das coordenadas pós – processadas e ajustadas em *softwares* e aplicativos desenvolvidos. Finalizando com a criação do cadastro 3D da Casa da Pólvora em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfico).

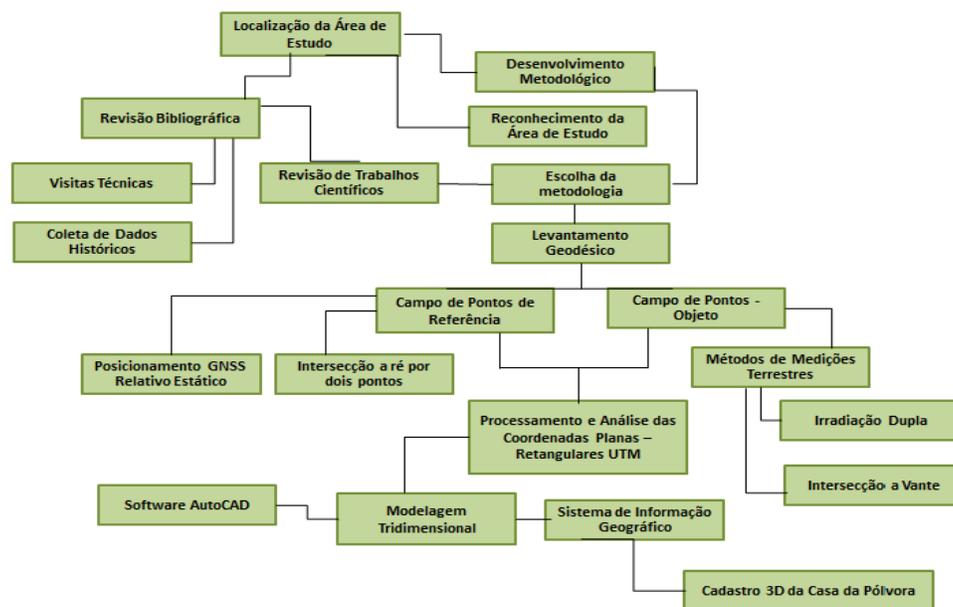


Figura 1. Fluxograma da metodologia do trabalho. Fonte: Gilmar Rocha.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Casa da Pólvora é uma construção datada do século XVIII (1710), é um monumento militar colonial, com construção em alvenaria de pedra calcária bruta argamassada (PONTES, 2010).

Encontra-se no perímetro de tombamento do centro histórico da cidade de João Pessoa, e está situada na ponta da colina, onde se desenvolveu a cidade alta, mais exatamente na ladeira de São Francisco. A edificação ocupava um lugar estratégico para a defesa da Capitania, por possuir uma vista panorâmica para todo o estuário do Rio Sanhauá. Seu tombamento foi lavrado no Livro Histórico Vol. I e no Livro de Belas Artes Vol. I em 24/05/1938.

Apesar de ser considerada uma edificação sólida e ter sido restaurada e adaptada para espaço de cultura entre 1977 e 1979, atualmente o monumento não possui funções turísticas e culturais e está inacessível a visitação por interdição da Defesa Civil, devido infiltração ocorrida no telhado da edificação.

2.2 MATERIAIS

Os equipamentos utilizados para determinação do campo de pontos de referência e do campo de pontos-objeto, que são os pontos de apoio ao levantamento topográfico e os pontos de limite e detalhe da Casa da Pólvora, foram:

- Receptores Geodésicos Hiper Lite Plus da Topcon, formado pelo conjunto Base e Rover, de frequência L1/L2;
- Estação Total NIKON eletrônica, operando na função com e sem prisma.

Os softwares específicos utilizados para o processamento e ajustamentos dos dados de campo foram:

- Topcon Tools da Topcon Versão 7.1 específico do sistema Hiper, para realizar o processamento e ajustamentos dos dados de medição geodésica dos vértices que compõem o campo de pontos de referência, rastreados através de receptores geodésicos;
- Datageosis Office versão educacional, para processamento dos dados topográficos medidos por estação total que compreendem os pontos de limite e de detalhe da Casa da Pólvora;
- Aplicativos desenvolvidos no Excel para determinação das coordenadas dos pontos de detalhe da fachada frontal a partir de formulação matemática do método da intersecção a vante e intersecção a ré por dois pontos.

Para a modelagem tridimensional e criação do Cadastro 3D da Casa da Pólvora foram utilizados dois softwares:

- AutoCAD (Autodesk), utilizado como software padrão de desenho de projetos de engenharia, urbanismo, agricultura, entre outros. Neste trabalho foi utilizado para modelagem 3D da estrutura física da Casa da Pólvora, a partir dos pontos de limite e detalhe da edificação;
- ArcGIS (Esri) é software de SIG - Sistema de Informação Geográfica, que organiza todos esses projetos em Bancos de Dados Geográfico (BDG) para posterior análises espaciais e geração de mapas temáticos. Neste trabalho foi utilizado para migrar o arquivo CAD com todas suas propriedades (elevação e coordenadas) para o ArcMap e para geração de mapas temáticos a partir dos resultados das consultas.

2.3 MÉTODOS

A seguir são apresentados os métodos e suas respectivas definições.

2.3.1 Estruturas geodésicas 3D

As estruturas geodésicas têm como objetivo auxiliar na determinação das coordenadas dos pontos de detalhes do objeto em estudo, desde o apoio ao levantamento topográfico até a integração entre sistemas de referência geodésicos. Voltado para o 3D, essas estruturas geodésicas são determinadas por três componentes, as coordenadas Este, Norte e a altitude.

2.3.1.1 Campo de pontos de referência

O campo de pontos de referência é formado por um conjunto de pontos materializados na superfície terrestre com valores posicionais conhecidos, intencionalmente preparados para a definição do Sistema de Referência de medição estável (FERREIRA et al., 2004). Este sistema de medição estável é utilizado como referência na determinação de pontos-objeto.

A materialização desse campo é realizada por pinos ligados e cravados a diferentes profundidades da superfície. Geralmente os pinos são cravados no meio fio de paralelepípedo situados em torno da quadra onde está localizado o objeto de estudo. As coordenadas devem ser determinadas de forma a atender as especificações do IBGE (1998) e normas vigentes da ABNT: 13.133/1994 (Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos), 14.166/1998 (Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento) e 14.645/2001 (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) para execução de levantamentos geodésicos e topográficos (GAMA, 2008).

Nesse trabalho as coordenadas do campo de pontos de referência foram determinadas tridimensionalmente, levando em consideração a altitude elipsoidal determinada no receptor GNSS (Global Navigation Satellite System), conhecida como altitude elipsoidal.

2.3.1.2 Campo de pontos - objeto

O campo de pontos-objeto é definido por Botelho (2003) como um conjunto de pontos que são levantados no terreno e utilizados para representação de todos os detalhes de um objeto, neste caso patrimônios históricos. Estes devem ter suas coordenadas referenciadas ao sistema definido pelo campo de pontos de referência. Neste trabalho, a designação de campo de pontos-objeto é dada aos pontos de limite e aos pontos de detalhe da Casa da Pólvora. Um campo de pontos-objeto, medido para monitoramento e representação tridimensional de edificações prediais históricas, foi estabelecido por Tenório e De Seixas (2008), no Centro Histórico de Olinda, tendo como objeto de estudo a Casa do Turista. Em Gama (2008), quando determinou um campo de pontos de referência e objeto, para medições e edificações prediais, voltado para o cadastro territorial.

Devido o campo de pontos de referência ser determinado tridimensionalmente (coordenadas Este (E), Norte (N) e altitude elipsoidal e não a ortométrica), as

coordenadas do campo de pontos-objeto a partir destes serão compostas pelas coordenadas E, N e pela altitude elipsoidal.

2.3.2 Métodos de levantamento cadastral 3D

Para o levantamento do campo de referência e campo pontos-objeto foi empregados o método de Posicionamento *GNSS* Relativo Estático e Métodos Técnicos Ópticos de Medição Geodésica: irradiação simples e dupla, interseção a vante e interseção a ré por dois pontos.

2.3.2.1 Método de posicionamento *GNSS* relativo estático

A dupla diferença de fase de batimento da onda da portadora é a observável normalmente utilizada no posicionamento relativo estático, embora possa também ser utilizada a dupla diferença da pseudodistância, ou ambas. Quando são disponibilizadas as duas observáveis, o levantamento proporciona melhores resultados em termos de acurácia (MONICO, 2008).

Para o posicionamento este método fornece a maior precisão atingível e requer um tempo de observação de longa duração (USDA e USDI, 2001), sendo procedida da seguinte forma: dois ou mais receptores rastreiam simultaneamente, os satélites visíveis, permanecendo estáticos durante a realização da medição. O tempo de observação depende do tipo de receptor (uma frequência ou duas frequências), da característica do *software* para o pós-processamento e do comprimento da linha de base (LEICK, 1995). A realização de levantamento aplicando o método estático no contexto de Costa et al (2002) proporciona uma significativa redução de erros do relógio do satélite, das efemérides e da propagação do sinal de satélites pela atmosfera.

Esse método de posicionamento proporciona melhores resultados em termo de acurácia do levantamento. A possibilidade de precisão adequada em curto período de observação faz o *GNSS* um excelente instrumento para a densificação de redes em pequenas distâncias (1 a 10 km) para definição de pontos de controle de obras de Engenharia (SEEBER, 2003).

2.3.2.2 Método de medição terrestre da irradiação dupla

A irradiação é um processo utilizado em levantamentos cadastrais de parcelas territoriais para georreferenciar os pontos de limites a um Sistema de Referência por meio de medição de coordenadas polares (ângulos e distâncias). A amarração ao sistema de referência é realizada através de dois pontos que integrem o sistema ou por um ponto e um azimute (GAMA, 2008). A Fig. (2) representa este método e as formulações matemáticas para chegar às coordenadas dos pontos a ser determinados.

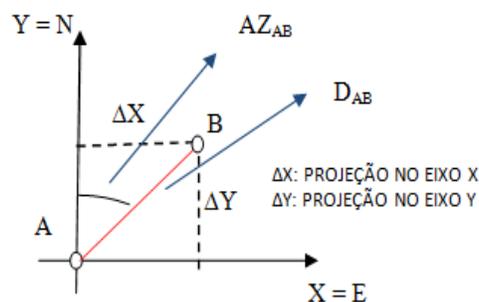


Figura 2. Método da irradiação dupla. Fonte: Adaptado de GAMA (2008).

Na aplicação do método da irradiação dupla, a transformação das coordenadas polares retangulares é realizada da seguinte maneira: conhecidas as coordenadas do ponto A e o azimute do alinhando AB, a posição B é determinada pelas seguintes equações:

$$\begin{aligned}
 X_B &= X_A + D_{AB} \cdot \text{sen}(AZ_{AB}) \text{ e} \\
 Y_B &= Y_A + D_{AB} \cdot \text{cos}(AZ_{AB}); \\
 D_{AB} &= \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \text{ e} \\
 AZ_{AB} &= \arctan(X_B - X_A / Y_B - Y_A)
 \end{aligned}$$

Onde,

X_B e Y_B são as coordenadas retangulares do ponto B a ser determinado;

X_A e Y_A são as coordenadas conhecidas do ponto A;

D_{AB} é a distância entre os pontos A e B e;

AZ_{AB} é o azimute do alinhamento AB.

2.3.2.3 Método de medição terrestre da intersecção a vante

Este método é recomendado quando os pontos-objeto não são de fácil acesso fazendo necessária a utilização de métodos trigonométricos para determiná-los (SILVA et al, 2006). Também pode ser aplicado quando as estações de referência não são intervisíveis entre si, neste trabalho, utilizou 2 (dois) pontos de referência (A e B) para se realizar a visualização do ponto a ser determinado C (Figura 3). A aplicação do método da intersecção a vante é possível quando se têm no mínimo dois pontos com coordenadas conhecidas para determinar as coordenadas do ponto desconhecido (pontos fixos) (KAHMEN e FAIG, 1988).

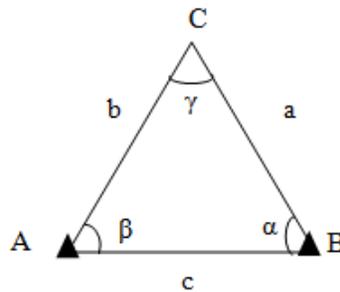


Figura 3. Método da intersecção a vante. Fonte: Adaptado de GAMA (2008).

As coordenadas aproximadas de X_C e Y_C do ponto C representada na Figura (3) podem ser calculadas conforme formulação matemática (HÄBLER e WACHSMUTH, 1984) encontrado em GAMA (2008) dada a seguir:

$$X_C = \frac{X_B \cdot \tan \beta + X_A \cdot \tan \alpha - \Delta X \tan \alpha \tan \beta}{\tan \alpha + \tan \beta}$$

$$Y_C = \frac{Y_B \cdot \tan \beta + X Y_A \cdot \tan \alpha - \Delta Y \tan \alpha \tan \beta}{\tan \alpha + \tan \beta}$$

Onde,

X_C e Y_C são as coordenadas aproximadas do ponto C;

α e β são os ângulos internos e;

ΔX e ΔY são as diferenças de coordenada dos pontos de referência A e B.

As coordenadas precisas do ponto desconhecido (C) podem ser obtidas a partir de várias direções com base nos pontos fixos A e B, com coordenadas determinadas a este ponto C, aplicando o ajustamento de observações.

2.3.2.4 Método de medição terrestre da intersecção a ré por dois pontos

Este método consiste na determinação de coordenadas a partir da medição, de uma estação desconhecida, de um ângulo α formado entre esta estação e dois pontos de coordenadas conhecidas; e a distância medida do ponto desconhecido a um dos pontos de referência (d_{AB}). Os ângulos β e γ são determinados aplicando-se a lei do seno, a Figura (4) representa este

método e as formulações matemáticas para chegar às coordenadas da estação desconhecida C são mostradas a seguir.

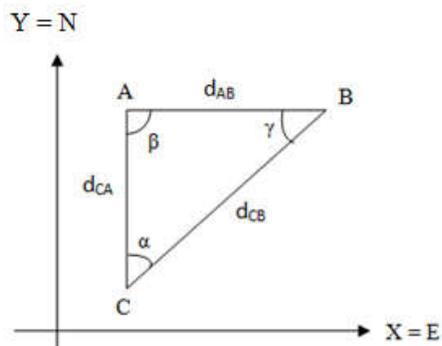


Figura 4. Método da interseção a ré por dois pontos. Fonte: Adaptado de ERBA (2003).

As coordenadas aproximadas de E_C e N_C do ponto C representada na Figura (4) são calculadas conforme formulação matemática aplicando a lei do seno, onde se conhece as distâncias entre os pontos, a formulação é dada a seguir:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{d_{AB}} = \frac{\text{sen } \beta}{d_{CB}} = \frac{\text{sen } \gamma}{d_{CA}}$$

Onde,

α , β e γ são os ângulos internos e;

d_{AB} , d_{CB} e d_{CA} são as distâncias entres os pontos.

2.3.3. Procedimentos metodológicos

O georreferenciamento da Casa da Pólvora foi realizado em duas etapas: primeiramente mediu-se o campo de pontos de referência, empregando-se o método do posicionamento relativo estático do Sistema de Posicionamento GNSS e o método de medição terrestre por interseção a ré por dois pontos, posteriormente foi determinado o campo de pontos-objeto, composto pelos pontos de limites e pontos de detalhes, localizados na fachada frontal e nas fachadas laterais da edificação, utilizando métodos terrestres de medição a base de estação total, por irradiação dupla.

2.3.3.1. Medição e processamento do campo de ponto de referência

O campo de pontos de referência é composto por cinco vértices: CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5 localizados nas imediações da Casa da Pólvora. Os vértices CP1, CP2, CP4 e CP5 foram medidos por GNSS e o ponto CP3 foi medido com estação total aplicando o método da interseção a ré por dois pontos.

2.3.3.1.1. Por GNSS

As campanhas GNSS para a definição posicional dos vértices que compõem o campo de pontos de referência foram realizadas em 10 de Fevereiro e 19 de Março de 2011. A Figura (5) representa a configuração desses vértices sobre uma imagem extraída do *Google Earth*.



Figura 5. Representação do Campo de Pontos de Referência. Fonte: Google Earth.

O georreferenciamento foi realizado utilizando os Receptores *GNSS*, onde o equipamento foi configurado para operar com intervalo de gravação de dados de 5 segundos, máscara de elevação de 13 graus, uma vez que o efeito do multicaminho é afetado diretamente pela elevação do satélite e por isso é necessário definir a máscara de elevação no receptor *GNSS*; o tempo de rastreamento utilizado foi de 40 minutos, por vértice, buscando uma melhor precisão dos dados levantados, pois esses vértices estão situados em área urbana e constante movimentação de carros e pessoas.

Inicialmente o equipamento *GNSS* Base foi instalado na Estação Referência (SAT 92442) que integra a Rede Geodésica passiva do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e está localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB – Campus João Pessoa) e o Rover foi instalado nos pontos que compõem o campo de pontos de referência, para rastreamento.

O processamento dos dados *GNSS* foi realizado utilizando satélites do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e *Global Navigation Satellite System (GLONASS)*. Os vetores linhas de base foram processados com solução das ambiguidades fixas.

2.3.3.1.2. Por Estação Total

Para a determinação das coordenadas do vértice CP3, foi utilizado o método de medição da irradiação dupla adotando como referência as coordenadas planas retangulares *UTM* no Sistema *SIRGAS 2000* dos vértices CP2 e CP4. As coordenadas do vértice CP3 foram calculadas em aplicativos desenvolvido em planilha do *Software Excel*.

2.3.3.2 Medição e processamento do campo de pontos-objeto

O campo de pontos-objeto é composto por: 10 pontos de limites ($T_1, T_2, Q_1, Q_2, S_1, S_2, R_1, R_2, G_{30}$ e G_3) que inclui pontos na fachada frontal e nas laterais direita e esquerda e 16 pontos de detalhes (G_1, \dots, G_{16}) da fachada frontal da Casa da Pólvora, essas coordenadas foram determinadas com o objetivo de auxiliar na modelagem tridimensional da edificação.

2.3.3.2.1. Pontos de limites

A medição dos pontos de limites que correspondem aos pontos localizados na fachada frontal (T_1, T_2, S_1, S_2 e G_{30}), na fachada lateral direita (Q_1, R_1, G_{31}) e fachada lateral esquerda (Q_2 e R_2), foram determinados a partir das estações de referência, (CP3 e CP4), (CP1) e (CP5), respectivamente. As medições foram realizadas utilizando-se Estação Total, empregando a técnica de pares conjugados, com uma série de leitura na posição direta e inversa. O processamento das coordenadas dos pontos de limites foi realizado no *software DataGeosis*

Office Versão 7.5.3.1 e ajustados em aplicativos desenvolvidos em planilhas do *software Excel*. Esses pontos de limites são de extrema importância tanto para o cadastro 2D como no cadastro 3D, pois eles delimitam a área ocupada pela edificação, além de servir de base para modelagem tridimensional da estrutura física do imóvel.



Figura 6. Ilustração da medição dos pontos de detalhes da fachada frontal, partindo das estações CP3 e CP4. Fonte: Google Earth.

2.3.3.2.1. Pontos de detalhe da fachada

A medição dos pontos de detalhes referentes à fachada frontal da Casa da Pólvora teve suas coordenadas determinadas a partir das coordenadas dos pontos de referência (CP₃ e CP₄), ilustrado na Fig. (6), utilizando o método de irradiação dupla. As observações foram realizadas utilizando-se Estação Total, empregando a técnica de pares conjugados, com uma série de leitura na posição direta e inversa. A Figura (7) apresenta a localização espacial dos pontos de detalhes da fachada frontal em cor vermelha e 3 pontos de limite em cor amarelo.



Figura 7. Espacialização dos pontos de detalhes da fachada frontal. Fonte: Gilmar Rocha.

O objetivo de utilizar duas estações foi para calcular as coordenadas pelo método da interseção a vante, que a partir de duas coordenadas dos pontos de referência, determinam-se as coordenadas dos pontos desconhecidos.

2.3.4 Cadastro 3D

O cadastro em três dimensões tem como finalidade registrar a situação legal dos objetos reais de propriedade e fornecer essas informações aos usuários, facilitando o acesso ao registro das informações complexas, além de facilitar o uso separado dos espaços e melhorar a segurança técnica legal dos direitos de propriedade (CARNEIRO et al, 2012).

Stoter e Zevanbergen (2006) afirmam que, para desenvolver um sistema útil de registros 3D, é importante observar as necessidades reais do cadastro a respeito das representações tridimensionais. Estas necessidades consistem em registrar a situação legal das propriedades e fornecer a informação da situação legal desses objetos (CORREIA, 2007).

Segundo HASSAN et al, 2008 a desvantagem das soluções para registrar unidades de propriedade em 3D ao registro cadastral atual é que a informação 3D não é integrado na parte espacial do banco de dados cadastral. Portanto, é impossível ver a situação de forma interativa em 3D. Por isso técnicas e aspectos institucionais têm que ser considerados antes da implementações de sistema de cadastro 3D.

No cadastro 3D é considerada uma terceira componente, uma variável vertical, conhecida como altitude, elevação ou volume. Nesse trabalho foi considerada a altitude elipsoidal, que é fornecida pelo receptor geodésico, calculada em relação a superfície matemática de referência (elipsoide) e não sobre a superfície terrestre, que é a superfície que melhor se ajusta ao nível médio dos mares, conhecido como altitude de referência ZERO. Ainda temos a altitude ortométrica, que é a altitude da superfície terrestre, utilizada apenas para levantamentos que exigem muita precisão, como algumas obras de engenharia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados os resultados das etapas desenvolvidas com o objetivo de construir um cadastro 3D da Casa da Pólvora.

3.1. Campo de pontos de referência

Após o rastreamento dos vértices que compõem o campo de pontos de referência, foi realizado o processamento e ajustamento dos pontos, utilizou-se como base a Estação de Referência SAT 92442 para determinar as coordenadas planas retangulares *UTM* no sistema geodésico SIRGAS 2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, 2000. A Tabela (1) mostra as coordenadas planas retangulares *UTM* em SIRGAS 2000 da estação SAT 92442 do IBGE e dos vértices e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 1. Coordenadas Planas Retangulares UTM do campo de pontos de referência e respectivos desvios padrão, pós- processadas no Topcon Tools Versão 7.1.

PONTO	ESTE (E)	NORTE (N)	ALTITUDE ELIPSOIDAL (h)	σ_E	σ_N	σ_h
SAT 92442	293138,001	9210723,640	40,90	0,004	0,005	0,042
CP1	291854,635	9213171,973	29,831	0,005	0,004	0,013
CP2	291832,987	9213188,992	28,366	0,004	0,003	0,010
CP4	291815,945	9213215,183	23,103	0,010	0,010	0,046
CP5	291836,113	9213224,513	24,770	0,005	0,005	0,026

Tratando-se do campo de pontos de referência, as análises dos resultados foram realizadas considerando os desvios padrão, obtido para as coordenadas planas retangulares *UTM*. Analisando a Tabela 1, observou-se que as precisões relativas alcançadas para cada coordenada calculada pelo *software Topcon Tools* e que foram advindas do processamento dos vetores linhas de base dos vértices do campo de pontos de referência, apresentaram resultados otimistas, com valores inferiores a 0,015mm, tendo em vista que os vértices encontram-se em locais próximos de edificações e na zona urbana com movimentação constante de automóveis e pessoas, mostrando precisão e qualidade do levantamento realizado.

Após o levantamento topográfico por interseção a ré por dois pontos, o ponto CP3 foi calculado utilizando as formulações matemáticas do mesmo em planilhas desenvolvidas no *software Excel*. O ajustamento foi também realizado em planilhas desenvolvidas no *software Excel*. A Tabela (2) apresenta as coordenadas planas retangulares *UTM* do ponto CP3 e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 2. Coordenadas planas retangulares *UTM* e o desvio padrão obtidas pelo método da interseção a ré por dois pontos.

PONTO	UTM (E) [m]	UTM (N) [m]	ALTITUDE ELIPSOIDAL (h)	σ_E	σ_N
CP ₃	291806,085	9213199,754	22,172	0,002	0,002

3.2. Campo de pontos-objeto

Determinado o campo de pontos de referência, foi realizado o levantamento do campo de pontos-objeto composto pelos pontos de limite (fachada frontal e das fachadas da lateral direita e esquerda) e de detalhes da fachada frontal. Esses pontos foram medidos pelo método da irradiação dupla e calculados pelo método da irradiação, no caso dos pontos de limite e pelo método da interseção a vante, no caso pontos de detalhes da fachada frontal, utilizando como estação de referência os vértices CP3 e CP4. A Tabela (3) apresenta as coordenadas planas retangulares *UTM* em SIRGAS 2000 dos pontos de limites.

Tabela 3. Coordenadas UTM SIRGAS 2000 dos pontos de limite da Casa da Pólvora.

PONTO	ESTE (E)	NORTE (N)	ALTITUDE ELIPSOIDAL (h)	σ_E	σ_N
T ₁	291834,372	9213191,406	28,391	-	-
T ₂	291832,538	9213202,428	28,984	-	-
Q ₁	291854,328	9213194,088	30,040	-	-
Q ₂	291852,060	9213204,954	30,040	-	-
S ₁	291834,737	9213190,962	33,526	0,005	0,003
S ₂	291832,899	9213202,485	33,293	0,004	0,002
R ₁	291854,328	9213194,088	34,083	-	-
R ₂	291852,060	9213204,954	34,083	-	-
G ₃₀	291833,784	9213196,238	35,289	0,004	0,002
G ₃₁	291853,155	9213199,208	35,191	-	-

Não foi possível determinar o desvio padrão de todos os pontos de limite, pois a grande maioria foi determinado apenas um por uma estação de referência, impossibilitando o cálculo pela interseção a vante e a determinação de seus desvios padrão. O restante dos pontos apresentaram valores inferiores a 5 mm, mostrando a precisão dos pontos de limites da edificação.

A Tabela (4) apresenta as coordenadas planas retangulares *UTM* em SIRGAS 2000 dos pontos de detalhes da fachada frontal, processadas e ajustadas em planilhas desenvolvidas no *software Excel* e seus respectivos desvios padrão. Essas coordenadas correspondem à porta, janelas e o brasão (descrição), que serviram para modelagem tridimensional da Casa da Pólvora no programa AutoCAD.

Tabela 4- Coordenadas planas retangulares *UTM* dos pontos de detalhes da fachada frontal.

Ponto	UTM (E)	UTM (N)	ALTITUDE ELIPSOIDAL (h)	Descrição	σ_E	σ_N
G ₁	291834,621	9213193,621	28,807	Porta	0,152	0,105
G ₂	291834,217	9213193,913	31,593	Porta	0,000	0,000
G ₃	291833,925	9213195,552	31,599	Porta	0,002	0,001
G ₄	291833,893	9213195,485	28,795	Porta	0,009	0,006
G ₅	291833,750	9213196,494	31,686	Janela1	0,003	0,002
G ₆	291833,721	9213196,522	33,092	Janela1	0,013	0,008
G ₇	291833,629	9213197,178	33,046	Janela1	0,006	0,003
G ₈	291833,640	9213197,190	31,672	Janela1	0,001	0,000
G ₉	291833,564	9213197,571	31,694	Janela2	0,004	0,002
G ₁₀	291833,544	9213197,548	33,075	Janela2	0,001	0,007
G ₁₁	291833,450	9213198,180	33,047	Janela2	0,003	0,001
G ₁₂	291833,468	9213198,184	31,676	Janela2	0,000	0,000
G ₁₃	291834,190	9213193,949	33,173	Brasão	0,060	0,041
G ₁₄	291834,187	9213193,955	33,528	Brasão	0,006	0,000
G ₁₅	291834,080	9213194,424	33,528	Brasão	0,004	0,003
G ₁₆	291834,000	9213194,984	33,525	Brasão	0,003	0,002
G ₁₇	291833,928	9213195,460	33,523	Brasão	0,002	0,001
G ₁₈	291833,930	9213195,463	33,070	Brasão	0,002	0,001

3.3. Modelagem tridimensional

A modelagem tridimensional de uma edificação histórica permite a melhor visualização e assimilação de sua estrutura física, isso só se faz possível quando há precisão nas informações coletadas nos levantamentos geodésicos.

Para criação da modelagem tridimensional, é necessário alimentar um *software* com os dados de entrada (coordenadas tridimensionais) para isso foi utilizado o AutoCAD onde foram realizadas as inserções das coordenadas planas retangulares *UTM* no sistema SIRGAS 2000, que correspondem aos pontos de limites e de detalhes que compõem o campo de pontos-objeto. A vantagem de utilizar um programa *CAD* é a facilidade de inserir as coordenadas através de uma planilha do *Excel* onde os pontos são espacializados automaticamente a partir de comandos realizados no ambiente do AutoCAD. Após modelagem o arquivo foi salvo em formato *.dxf* versão 2000, evitando erros de compatibilidade no momento de migração para o *ArcGIS*. A Figura (8) apresenta visualização da localização do campo de pontos-objeto que permitiu a construção das faces que compõem a estrutura física da Casa da Pólvora, os pontos de cor vermelha são os pontos de limites e de cor roxo são os pontos de detalhes da fachada frontal.

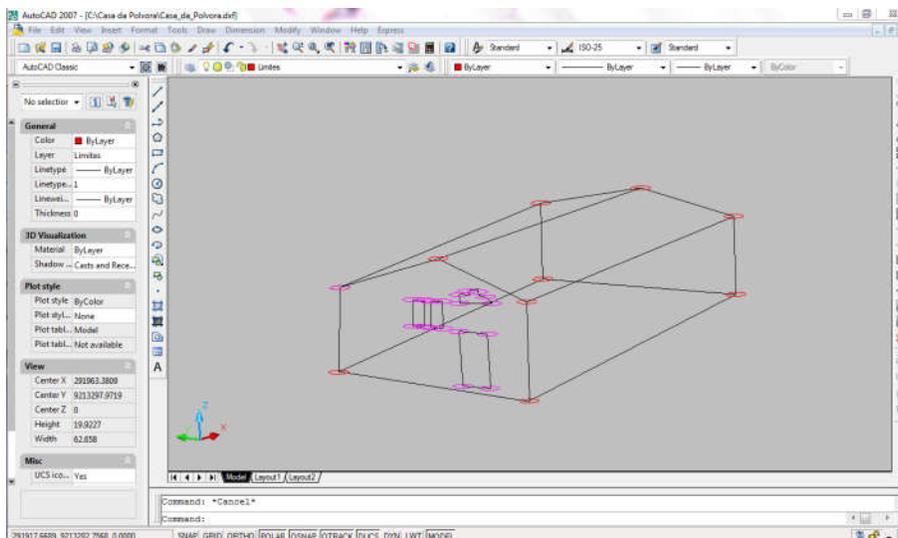


Figura 8. Geração da modelagem tridimensional da Casa da Pólvora no Software AutoCAD. Fonte: Gilmar Rocha.

3.4. Cadastro 3D da Casa da Pólvora

Dentre os modelos proposto por STOTER em 2004, para realizar o cadastro 3D da Casa da Pólvora foram escolhidos dois modelos:

- Cadastro 2D com informações 3D associada: é o modelo mais simples e adequado a um aplicação mais imediata no Brasil, especialmente por não exigir alterações significativas na estrutura administrativa legal (CARNEIRO et al, 2012). A Figura (9) exemplifica o modelo de cadastro, onde a base cadastral está em duas dimensões com os lotes determinados com a cor bege e o objeto em terceira dimensão de cor verde. É observado uma diferença de nível entre a base cadastral 2D e o objeto em 3D devido a ausência da componente vertical (Z) no cadastro atual, contendo apenas as componentes (X e Y).



Figura 9. Modelo de Cadastro 2D com informações 3D associada. Fonte: Gilmar Rocha.

- Modelo híbrido 2D/3D podendo ser um cadastro 2D das parcelas em que a componente vertical não tenha tanta relevância e um cadastro 3D cuja situação exija determinação de seu aspecto tridimensional, evidenciando primeiramente aos imóveis com maiores necessidades de representação, destacando os objetos existentes acima e abaixo da

superfície terrestre (CARNEIRO et al, 2012). A Figura (10) apresenta uma visualização da base cadastral 3D evidenciando a edificação histórica em estudo.

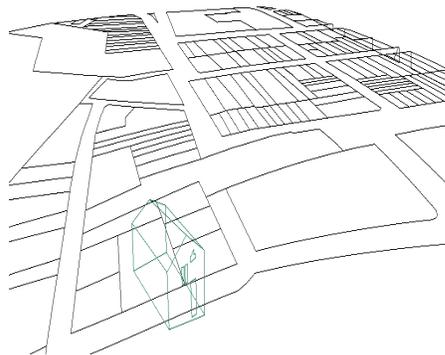


Figura 10. Modelo de Cadastro Híbrido 2D/3D. Fonte: Gilmar Rocha.

Para elaboração do cadastro, foi utilizado os pontos positivos dos dois modelos proposto por STOTER, no primeiro modelo veio o conceito da associação da base cartográfica 2D com o imóvel em 3D e no segundo conceito do cadastro híbrido onde leva em consideração a relevância do imóvel para representatividade em 3D.

No *software ArcGIS*, foi inserido o arquivo de modelagem 3D criada no AutoCAD, onde foi possível primeiramente exportar para arquivo *shapefile*, onde foi realizada a edição da tabela de atributo, adicionando informações sobre a estrutura física da edificação. Foram inseridos posteriormente os pontos de limite do lote e criado um arquivo de polígono chamando “limite_casa.shp”, em seguida foi realizado a junção, utilizando a ferramenta “*join*”, desse arquivo com a planilha *Excel* contendo as informações do imóvel.

Na Figura 11 mostra a visualização do limite do centro histórico (linha vermelha), os lotes contidos no perímetro do limite do centro histórico (bege) onde está contido diversas edificações históricas tombadas pelo IPHAN, é possível visualizar o lote da Casa da Pólvora contido na base cadastral da prefeitura municipal de João Pessoa (verde) e por fim o limite da Casa da Pólvora, determinado por levantamento topográfico (azul).

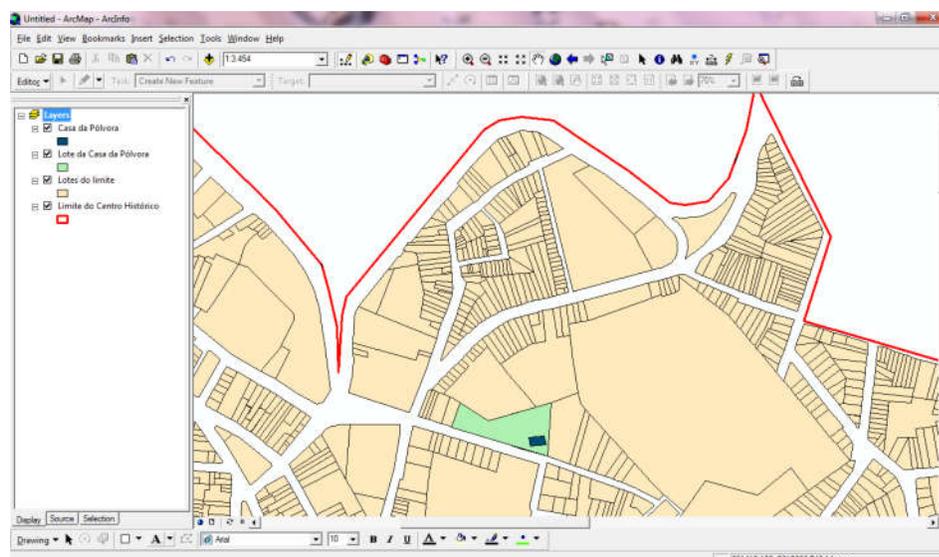


Figura 11. Visualização do cadastro da Casa da Pólvora. Fonte: Gilmar Rocha.

3.5. Cadastro 3D da Casa da Pólvora

Finalizado a criação dos *shapefiles* do limite e da modelagem 3D da Casa da Pólvora, contendo informações referentes a estrutura física, estado de conservação, informações históricas, elevação (altitude elipsoidal), coordenadas e comprimentos das paredes. A Figura (12) apresenta a identificação realizado ao selecionar a feição que representa a Casa da Pólvora (limite_casa.shp).

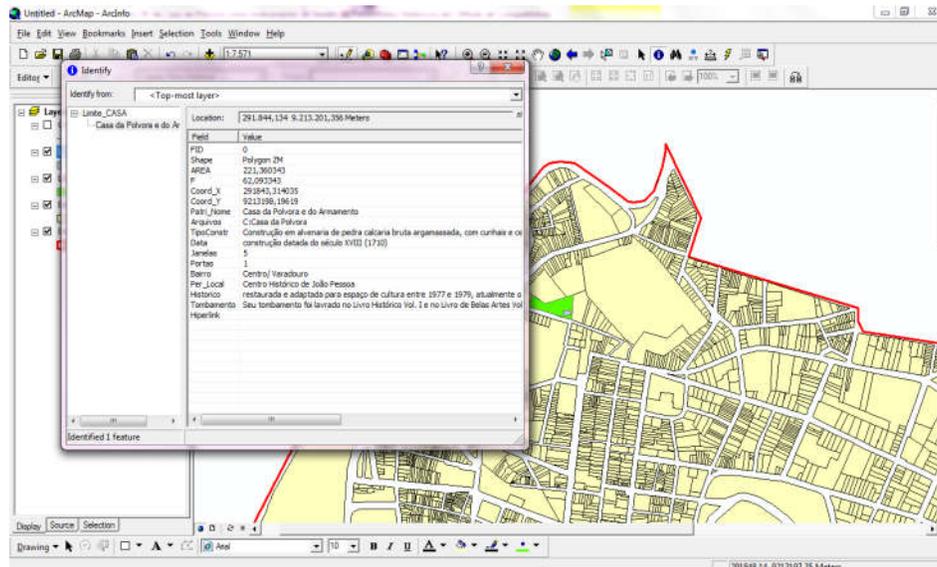


Figura 12. Visualização das informações referentes a Casa da Pólvora.

Fonte: Gilmara Rocha.

3.6. Hiperlink

No cadastro elaborado no *ArcGis*, o lote da Casa da Pólvora é composto por um *hiperlink* que direciona para uma pasta que contém arquivos de modelagem tridimensional, arquivos esses em formato *shapefile*, em *CAD*, imagens da edificação e um arquivo para a visualização 3D no *ArcScene*.

A Figura (13) apresenta a consulta do lote a partir da função de *Hiperlink*, observa-se que automaticamente uma pasta é aberta contendo vários arquivos com formato distintos, que representam a modelagem da edificação selecionada.

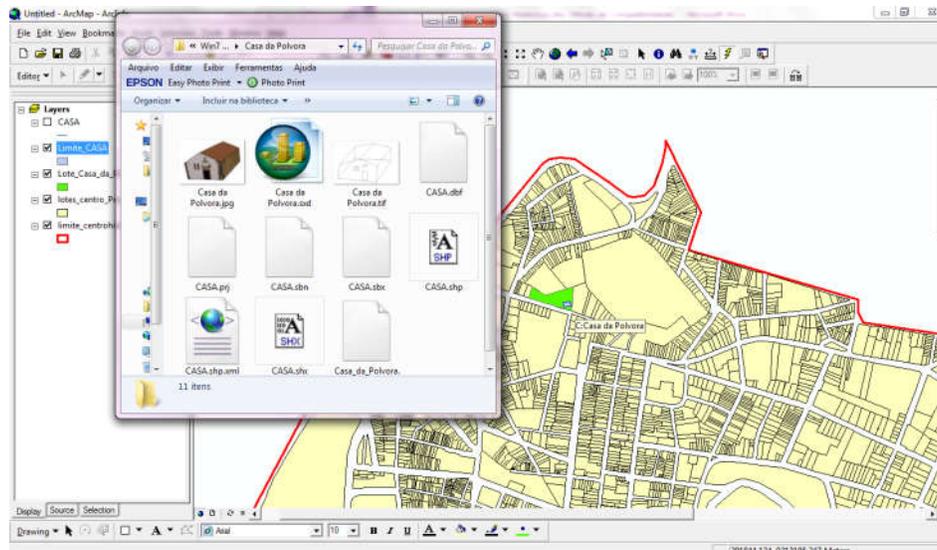


Figura 13. Hiperlink para os arquivos com a modelagem.

Fonte: Gilmar Rocha.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O posicionamento de edificações históricas mediante a um sistema geodésico de referência proporciona as reais coordenadas de pontos de limite e detalhes garantindo a representação da real geometria da edificação, além de permitir o levantamento dos pontos em outras épocas distintas, proporcionando uma representação constantemente atualizada e precisa para o cadastro territorial urbano.

A aplicação de métodos distintos permite detectar a existência de erros grosseiros nas medições realizadas, assim como permite verificar a aproximação das coordenadas advindas dos métodos aplicados na definição posicional da edificação em estudo. Outra contribuição quando se trata de posicionamento geodésico de edificações históricas é na elaboração da documentação do patrimônio histórico, auxiliando desde a modelagem 3D com coordenadas precisas até a criação do cadastro 3D de patrimônios históricos como instrumento de gestão e gerenciamento das edificações históricas.

A geração da modelagem tridimensional da Casa da Pólvora com dados planialtimétricos confiáveis, possibilita o controle geométrico, com a vantagem de representar a geometria real, permitindo uma visão geral da edificação, contribuindo de forma eficaz no monitoramento, gerenciamento e planejamento territorial.

Como os sistemas de gerenciamento territorial em duas dimensões têm mostrado limitações para lidar com direitos cada vez mais complexos, conclui-se que o cadastro 3D tem como principal objetivo refletir a situação real e não apenas a parcela na superfície.

Vale salientar que um objeto em 3D não pode ser definido como um objeto cadastral num mapa e não pode ser usado como base para o registro, sendo apenas administrativa, a falta de uma representação digital 3D é um dos problemas enfrentados na construção de um cadastro 3D. É importante compreender a situação de fato quando a terceira dimensão é um fator de confirmação para a situação legal. Consequentemente, um sistema deve ser desenvolvido para coletar, modelar e armazenar, pesquisar e visualizar os dados a respeito dos objetos representados em combinação com os dados já disponíveis em parcelas 2D.

Assim, é importante o conhecimento e divulgação deste trabalho, que defende os métodos geodésicos e topográficos no auxílio a modelagem tridimensional e criação de um cadastro 3D de edificações históricas como instrumento de gestão de patrimônios históricos.

REFERÊNCIAS

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

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

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.

BOTELHO, F.J.L. *Métodos de Racionalização Construtiva no Posicionamento preciso de Edificações Prediais*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. 2003.

CARNEIRO, A.F.T; ERBA, D.A; AUGUSTO, E. A. A. *Multipurpose 3D Cadastre: Concepts and Possibilities for the Implementation in Brazil*. Revista Brasileira de Cartografia (2012) Nº 64/2: 257-271 - Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. ISSN: 1808-0936.

CORREIA, A. C. S; CARNEIRO, A.F.T; DE SÁ, L. A. C. M. *Cadastro 3D – Experiência e Implementação*. II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente – SP, 24-27 de julho de 2007.

COSTA, M. F.; LAGO, L. F.; PRADO, A. *Análise do processamento de dados GPS em Função das Diferentes Condições de Rastreamento*. Boletim. Ciências Geodésicas, V.8, nº 1. P. 17-24. 2002.

ERBA, D. A.; THUM, B. A.; SILVA, C. A. U. da; SOUZA, G. C. de; VERONEZ, M. R.; LEANDRO, R. F.; MAIA, T. C. B. *Topografia para estudantes de Arquitetura, Engenharia e Geologia*, 2003.

FERREIRA, T. F; 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 apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE. Recife. 2008.

GAMA. L.F.; SEIXAS, A.; 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.

HASSAN, M. I.; AHMAND-NASRUDDIN, M. H.; YAAKOP, I. A.; ADBUL-RAHMAN, A. *An Integrated 3d Cadastre – Malaysia As An Example*. The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B4. Beijing 2008.

KAHMEN, H.; FAIG, W. *Surveying*. Berlin. 1988. Ed. de Gruyter.

LEICK, A. *GPS: Satellite surveying*. 2. ed. New York: J.Wiley. 1995. 560p.

MONICO, J. F. Galera. *Posicionamento Pelo GNSS - Descrição, Fundamentos e Aplicações*. Editora UNESP – São Paulo. 2008.

PONTES, A. M. L. *Entre Fragmentos: os ditos e não ditos das ruínas patrimoniais*. Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2010.

SEEBER, G. *Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications*. Berlin, New York, 2003.

SILVA, A.G. O.; AZEVEDO, V.W. B.; SEIXAS, A. *Métodos de Levantamentos Topográficos Planimétricos para o Georreferenciamento de imóveis rurais*. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande. 939-948 P. 2006.

STOTER, J.E. *3D Cadastre*. PhD Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), the Netherlands. 2004.

STOTER, J. & ZEVENBERGEN, J. *Changes in the definition of property: A consideration for a 3D Cadastral Registration System*. 2006.

ROCHA, G. D. C.; GAMA, L. F.; DIAS, E. R.; CARMO, K. C. *Georreferenciamento de Edificações Prediais Históricas para Diagnóstico de Movimentos Horizontais e Verticais*. Projeto de Pesquisa pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. João Pessoa. 2011.

ROCHA, G. D. C.; GAMA, L. F.; DE SEIXAS, A.; DIAS, E. R.; CARMO, K. C. *Levantamentos Geodésicos de Edificações Históricas*. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE, 06 – 09 de Maio de 2012.

TENÓRIO, B.; DE SEIXAS, A. *Reconstrução Tridimensional de Superfícies Topográficas Terrestres e Obras Arquitetônicas no Sítio Histórico de Olinda*. II Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. Recife. 2008.

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.

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