

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL USO DA REALIDADE AUMENTADA NA LOCAÇÃO DE OBRAS DE PEQUENO PORTE

Guilherme Morais Gomes (UFU) E-mail: guilhermecybermg@gmail.com

Marcio Augusto Reolon Schmidt (UFU) E-mail: marcio.schmidt@ufu.br

Resumo: Com o avanço da tecnologia novas oportunidades surgem para melhorar ou até mesmo substituir procedimentos usualmente adotados na engenharia. Uma dessas novas oportunidades é o uso de equipamentos com tecnologia de realidade aumentada na locação de obras de pequeno porte. Ao invés de se utilizar aparelhos topográficos, o conhecimento prévio das posições em campo de detalhes de projeto permite que a obra seja locada com relativa precisão à curtas distâncias. Para esta avaliação foi construída uma poligonal com os vértices rastreados por GPS monofrequência e comparados com as posições locadas através de um sistema de realidade aumentada embarcado em um tablete de uso comum com conexão à internet e GPS. As diferenças de coordenadas mostram uma variação dentro do aceitável sob ponto de vista da análise da propagação de variância e correlação linear. As conclusões do estudo apontam na precisão requerida para obras de pequeno porte existe potencial para uso desta tecnologia.

Palavras-chave: Locação de Obras, Realidade Aumentada, Geolocalização.

ASSESSMENT OF POTENTIAL USE OF AUGMENTED REALITY IN SMALL CONSTRUCTION LOCATION

Abstract: With the advancement of new technology, opportunities arise to enhance or even replace procedures that are usually adopted in civil engineering. One of these opportunities is the use of augmented reality technology in small building location. Instead of using surveying instruments, prior knowledge of the project positions allows the building locating with relative precision at close range. For this evaluation a small polygonal had its vertices coordinates determined by GPS single frequency to work compared to those located at the building site through an augmented reality system embedded in a tablet of common use with internet connection and GPS. The coordinate differences show an acceptable variation from the standpoint of propagation analysis of variance and linear correlation. The study's findings the accuracy required for small works has potential to use this technology.

Keywords: Civil Building Location, Augmented Reality, Geolocalization

1. Introdução

O desenvolvimento de uma obra civil inclui um grande número de atividades tridimensionais, que exige dos profissionais a compreensão, visualização (criação de imagens mentais) e desenvolvimento de procedimentos a partir do entendimento de desenhos e descrições gráficas, semelhante ao que ocorre na leitura e interpretação de mapas topográficos. Um dos processos mais importantes é o de locação de obras. Para locar um projeto, é necessário partir de um referencial topográfico ou geodésico estabelecido no local da obra para determinar a posição adequada dos pontos que serão locados. Usualmente, em pequenas obras isso é feito através da irradiação conectada a uma poligonal de apoio. A irradiação é um método da topografia em que a partir de dois pontos conhecidos é possível demarcar pontos isolados representativos, como os eixos de simetria de pilares e vigas. Entretanto, toda medida possui erro e, inevitavelmente, as grandezas derivadas delas também apresentarão erros. A transmissão dos erros das

medidas de campo influencia a qualidade final da coordenada obtida, e isto denomina-se propagação de erros (AMORIM,2005).

Uma abordagem recente no campo de construção civil é o uso da tecnologia da Realidade Aumentada (RA) que tem ganhado espaço no campo das pesquisas de automação e tecnologia de localização nos últimos anos como (BEHZADAN et al., 2008; VAN BERLO et al., 2008; VAN TONDER e WESSON, 2008; GIMENO et al., 2011; VEAS et al. 2013). A RA permite sobrepor imagens capturadas por uma câmera e informações gráficas combinadas em tempo real. A imagem capturada funciona como cenário do ambiente do usuário e um programa representa objetos virtuais concretos, como pilares, pontos topográficos ou abstratos (como tabelas ou símbolos pictóricos), para criar uma visualização composta em que o usuário tem a sensação de que os objetos sobrepostos estão presentes na cena. Essa visão aumentada pode conter informação suplementar valiosa em diversos contextos científicos e de engenharia (BEHZADAN et al, 2008). Embora estas tecnologias permitam, através do uso de um dispositivo de visualização adequado, o uso por técnicos de construção para identificar as posições dos pontos de referência facilmente e marcá-los no local, sistemas de RA também permitem a observação de pontos de referência virtuais para a realização do mesmo trabalho.

O problema que se estabelece então passa a ser o nível de precisão que pode ser obtido para uso desta tecnologia no contexto da locação de obras. Por isso, este artigo apresenta os resultados da adoção da hipótese de que os erros cometidos na locação de obras utilizando RA em curtas distâncias são suficientemente pequenos para sua adoção em pequenas obras de engenharia. A modelagem dos dados foi realizada utilizando softwares livre em um tablete com sistema Androide e foram realizados testes de campo considerando os problemas de locação e resolução de ambiguidades e correções do sistema GPS e acelerômetros para o adequado posicionamento do dispositivo móvel.

2. A propagação de variâncias aplicadas a locação de obras

A qualidade de qualquer medida tomada durante o processo de locação pode ser determinada pela propagação das variâncias dos equipamentos utilizados, ou seja, a precisão angular e linear das estações totais. Essa propagação pode ser modelada por funções lineares, quando relacionam diretamente uma grandeza em uma certa proporção à outra sem correlação com fatores ambientais diretos.

Existe diversos tipos de equipamento e diversos meios de instalação dos mesmos, sendo está uma das principais variáveis na influência dos erros embutidos nos dados de campo, portanto tem-se que tomar medidas que visam a redução desta incerteza. No processo de locação de obras a sequência para a instalação da estação total deve priorizar o posicionado correto em cima de um ponto conhecido para a criação de um plano vertical, nivelando o aparelho para a criação de um plano horizontal perpendicular ao primeiro e, com os dois planos materializados no referencial instrumental do aparelho, aponta-se o aparelho para um ponto secundário de coordenadas conhecidas e zera-se as coordenadas neste ponto, sendo os demais pontos locados a partir deste ponto com ângulos horizontais e distâncias conhecidas. Este procedimento visa a diminuição dos erros gerados nesse processo, tomando cuidados necessários a priori, como verificação da manutenção periódica e calibração do aparelho.

Para efetuar a determinação dos valores de propagação utiliza-se a linearização com a base teórica na expansão de Taylor (AMORIM, 2005). Ao utilizar a média como o valor com maior chance de ser o valor real da medida, o somatório do quadrado das diferenças entre esse valor mais provável e cada uma das observações deve ser mínimo.

Dividindo-se pelo número de observações resulta na variância, que é uma medida de dispersão entorno do valor mais provável da observação e amplamente utilizado como medida de qualidade de uma medida, apresentado na Equação [1]. Além disso, a covariância demonstra a existência e qual a intensidade da interdependência linear entre duas variáveis, respectivamente, pela Equação [2].

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad [1]$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i) \cdot (\bar{y} - y_i) \quad [2]$$

Considerando-se que um serviço de locação de obras por topografia tradicionalmente é usado para a determinação de posições no terreno por meio de coordenadas horizontais de diversos pontos informados no projeto estrutural e de fundações, a expressão fundamental pode ser reescrita em forma matricial, considerando as variações das diversas leituras realizadas sequencialmente nos diversos pontos a serem locados de uma obra. A Equação [3] apresenta a generalização da expressão algébrica geral da lei de propagação dos erros (variância) para o caso que não haja correlação entre as observações coletadas em campo, ou seja, observações independentes. Sendo essa expressão constituída pela seguinte ordem: a variância da grandeza derivada, vetor linha dos coeficientes do modelo matemático usado na caracterização da observação, a matriz variância-covariância (inicialmente matriz diagonal tida como observações independentes) e o vetor coluna transposto dos coeficientes (AMORIM, 2005). Na Equação [3] e [4] estão escritas na forma matricial e na forma simplificada, respectivamente. A fórmula simplificada é caracterizada por A representando a matriz dos coeficientes, A^T a matriz transposta dos coeficientes e Σ_{ii} é a matriz variância-covariância das observações, onde m é o número de observações.

$$\sigma_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \quad \dots \quad \frac{\partial y}{\partial x_m} \right) \cdot \begin{pmatrix} \sigma_{x1}^2 & \dots & \sigma_{x1xm} \\ \sigma_{x2x1} & \dots & \sigma_{x2xm} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{xmx1} & \dots & \sigma_{xm}^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\partial y}{\partial x_1} \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial y}{\partial x_m} \end{pmatrix} \quad [3]$$

$$\sigma_y^2 = A_m \cdot \Sigma_{ii} \cdot A_1^T \quad [4]$$

Entretanto, ressalta-se a necessidade de se avaliar a correlação dos dados coletados previamente, como proposto por Gemael (1994), pois se as observações não tiverem nenhuma correlação ou correlação nula, seria indicado o uso da propagação de variância de observações independentes. Isto é percebido quando, por exemplo, se realiza a coleta dos ângulos de uma poligonal com um teodolito e a leitura de distâncias com outro dispositivo como as trenas. Como usualmente se utiliza as estações totais para observação direta de medidas angulares e lineares de forma conjunta, é natural entender que as observações são necessariamente dependentes o processo de coleta envolve um conjunto de erros sistemáticos e ambientais do próprio aparelho de medição e que se distribui na avaliação das variâncias de forma que diferentes pontos da locação do projeto no terreno recebem um peso maior que outros.

2.1 Utilização de sensores móveis

Para a utilização de dispositivos móveis na locação é necessário que as condições ambientais no canteiro de obras assegurem o desenvolvimento de trabalho com precisão. Novos procedimentos também devem ser adotados para assegurar que o sistema seja capaz de atingir as precisões requeridas. Por exemplo, manter o dispositivo adequadamente posicionado e orientado durante a execução da locação. Isto significa que todos os sensores como GPS, acelerômetros, magnetômetro e rede Wi-fi devem estar ligados e calibrados durante a locação como forma de reduzir variações nas coordenadas identificadas pelo sistema de realidade virtual.

No caso dos tablets e smartphones, apesar de serem sistemas ativos de sensores, os sistemas de lentes das câmeras não são calibradas e não possuem os retículos para alinhamento como no caso dos teodolitos e estações totais. As lentes do dispositivo móvel podem ser calibradas o que permite a modelagem das principais distorções do sistema projetivo do dispositivo como distorções radiais, assimétricas, ponto principal e distâncias focais (SILVA e SCHMIDT, 2015), sendo um dos principais métodos utilizados o método de Zhang (2000). Entretanto, por se tratar de lentes de grande abertura e pequena distância focal, chamadas de supergrande angular, com distância focal em torno dos 3 a 5 mm, a focagem com precisão pode ser difícil à grandes distâncias, o que influencia diretamente a precisão do ponto locado. Além disso, não existe o ajuste de foco e distância focal como nas estações totais e teodolitos. Dessa forma a locação passa a ser uma questão de cálculos matemáticos do sistema de realidade virtual que projeta uma marca na tela do usuário a partir de cálculos realizados dos dados de posição e orientação vindos dos sensores.

Outro ponto a ser abordado é a superfície de referência para o trabalho. Na locação com equipamentos topográficos a superfície de referência é um plano topográfico local (PTL) definido localmente para atender às especificações de qualidades locais e com pequena abrangência espacial, geralmente menos de 25km (NBR14166-1998). No caso de localização com uso do GPS, a superfície de referência passa a ser o elipsoide de revolução com os parâmetros definidores (semieixo maior e achatamento do polo) definidos pelos valores adotados no WGS84. Com isso, existe a necessidade de corrigir as posições relativas e as distâncias entre os pontos de acordo com as correções da Geodésia. Essa redução entre superfícies de referência pode ser realizada pela Equação [5].

$$\begin{aligned} X_p &= [-\text{sen}\lambda_0 \cdot (x_p - x_0) - \text{cos}\lambda_0 \cdot \text{sen}\varphi_0 \cdot (y_p - y_0) + \text{cos}\lambda_0 \cdot \text{cos}\varphi_0 \cdot (z_p - z_0)] \\ &\quad + X_0 \\ Y_p &= [\text{cos}\lambda_0 \cdot (x_p - x_0) - \text{sen}\lambda_0 \cdot \text{sen}\varphi_0 \cdot (y_p - y_0) + \text{sen}\lambda_0 \cdot \text{cos}\varphi_0 \cdot (z_p - z_0)] + Y_0 \quad [5] \\ Z_p &= [\text{cos}\varphi_0 \cdot (y_p - y_0) + \text{sen}\varphi_0 \cdot (z_p - z_0)] + Z_0 \end{aligned}$$

Na equação 5, o referencial adotado na locação, ponto 0 de coordenadas cartesianas é comum tanto no PTL, representado por (x_0, y_0, z_0) como no elipsoide (X_0, Y_0, Z_0) . Os demais pontos genéricos P (X_p, Y_p, Z_p) são transformados entre o sistema cartesiano local e depois para geocêntrico através das equações de Torge (2001) considerando as coordenadas geodésicas do ponto inicial (figura 1).

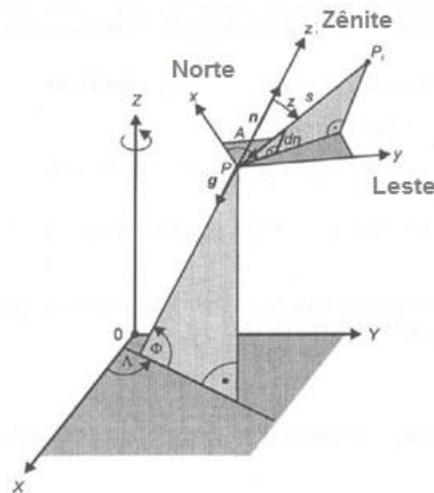


Figura 1 - Esquema de transformações entre plano topográfico local (PTL) e sistema geocêntrico Fonte: Adaptado de Torge, 2001 pg. 42

Aplicando a realidade aumentada na locação de uma obra, pode tornar este processo mais intuitivo, pois dispensaria o uso de equipamentos topográficos especializados e muitas vezes delicados de transportar, em especial com vistas as obras civis de menor porte. Para validar esse uso, foi realizado um comparativo entre os métodos existentes com essa nova metodologia, com a avaliação das diferenças posicionais, a estabilidade do sistema no tempo e a comparação das precisões finais em relação aos métodos convencionais.

3. Metodologia de Aquisição de Coordenadas e Análise

Os dados de controle são resultado de um levantamento realizado no campus da Universidade Federal de Uberlândia, na cidade de Uberlândia, MG, Brasil. Foi utilizado um teodolito eletrônico com precisão angular de 5", com auxílio de um tripé, uma baliza, um trena para simular a locação de uma obra de aproximadamente 500m² na área na forma de um trapézio. O primeiro ponto foi selecionado como referencial para a irradiação topográfica dos restantes. Para aumentar a confiabilidade do uso do sistema móvel todos os pontos foram rastreados por GPS (L1), pós-processado, pelo método estático rápido. As configurações de rastreamento atendem as normas brasileiras, sendo gravação com intervalo de cinco segundos, sessão de trinta minutos por ponto, máscara de elevação de quinze graus para evitar efeitos de multicaminho, e antena à dois metros de altura. Os dados foram posteriormente processados em relação à estação MGUB, parte da rede brasileira de monitoramento contínuo (RBMC), que fica no próprio campus da universidade.

Os dados de teste foram obtidos com uso do tablete Motorola modelo Xoom 2 com processador dual Core de 1.2GHz com 1GB de Memória RAM, com tela de 10", Sistema operacional Android 4.0.2, com memória RAM (interna) de 1 GB. Este aparelho tem conexões Wi-Fi e 3G além de possuir duas câmeras, a traseira de 5MP sem apoio de flash e frontal de 1.3MP, e GPS.

Todos os programas utilizados no desenvolvimento da ferramenta são de uso gratuito (freeware) e disponíveis pela internet. O sistema de RA desenvolvido foi baseado na plataforma Wikitude®. Esta plataforma permite criar aplicações flexíveis que agregam os sensores posicionais (GPS, acelerômetros, magnetômetro e câmera de vídeo) de forma relativamente simples trabalhando em linguagem de programação JavaScript em ambiente AndroidStudio. A figura 2 mostra o sistema em funcionamento.



Figura 2 – Sistema de RA em funcionamento na área de testes Fonte: Autores

O ponto de locação foi representado no sistema de RA como um retângulo com as diagonais cruzadas, formando um X sobre o ponto de coordenadas conhecidas, ou uma cruz, e que marcava o ponto que deveria ser marcado no terreno, vistas na Figura 2.

Foram criadas três situações para avaliação considerando o afastamento relativo do tablete ao ponto a ser locado, a variação de posicionamento do sistema durante o tempo, e o tipo de refinamento do sinal de posicionamento a ser considerado (somente gps ou gps refinado pelo wi-fi). A primeira situação foi a locação utilizando somente o código C/A do GPS do tablet do aparelho, percorrendo os alinhamentos da obra pelas informações inseridas no sistema e a leitura realizada a uma distância de um metro do ponto a ser locado. Na segunda situação a Wi-fi foi ligada para refinamento do posicionamento GPS e repetido o processo de tomada das coordenadas a um metro do ponto a ser locado. A terceira situação foi o uso do código C/A com wi-fi e, porém, com variação da posição de tomada das coordenadas, sendo o aparelho afastado gradativamente em 2m, 3m, 4m e 5m. Em todos os casos, a marcação dos pontos com uso do sistema RA foi realizada a cada 30 segundos durante um período de cinco minutos por pontos. Isso totalizou dez marcações por ponto a cada afastamento. Por fim, foi medida a dispersão das leituras entorno dos pontos marcados no levantamento padrão (com estação total), calculadas as variâncias e comparadas ao levantamento alternativo (com RA).

A avaliação da precisão obtida foi realizada com uso da Elipse de Erros (GEMAEL, 1994, AMORIM, 2005), que trata-se de uma modificação do Círculo de Mohr, considerando os eixos como a variâncias e correlações entre os valores. Para tanto foram consideradas as Equações 6, 7 e 8.

$$\theta = \frac{1}{2} \cdot \text{arctg} \left(\frac{2\partial_{xy}}{\partial_x^2 - \partial_y^2} \right) \quad [6]$$

$$\partial_x^2 = \text{sen}^2 \theta \cdot \partial_x^2 + \text{cos}^2 \theta \cdot \partial_y^2 + 2 \cdot \text{cos}^2 \theta \cdot \text{sen}^2 \theta \cdot \partial_x^2 \quad [7]$$

$$\partial_y^2 = \text{cos}^2 \theta \cdot \partial_x^2 + \text{sen}^2 \theta \cdot \partial_y^2 + 2 \cdot \text{cos}^2 \theta \cdot \text{sen}^2 \theta \cdot \partial_y^2 \quad [8]$$

4 Resultados e Discussões

As coordenadas de controle dos pontos experimentais foram obtidas com o GPS monofrequencia e estão apresentadas na Tabela 1, com os respectivos desvios padrão para cada coordenada. Nesta tabela, N representa a coordenada norte, E a coordenada Leste. Estas informações foram inseridas no sistema desenvolvido de RA. Durante os

testes, foram observados outros fatores que influenciam em sua viabilidade técnica, como também em seu conforto transmitido ao usuário final. Estas outras variáveis são o tempo de estabelecimento e resolução da posição pelo sistema GPS do tablet, a precisão influenciada pela conexão com wi-fi e a estabilidade do sinal e dos sensores na manutenção dos marcadores na cena apresentada na tela.

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos de controle

Ponto	Coordenadas Geodésicas				Coordenadas Cartesianas Geocêntricas		
	Nome	Latitude	σ_n (m)	Longitude	σ_e (m)	X	Y
MGUB	18°55'08,98"S	0,001	48°15'21,78"W	0,001	---	---	---
P0	18°55'09,37"S	0,004	48°15'19,15"W	0,004	4018638,017	4503344,948	2054898,079
P1	18°55'09,46"S	0,005	48°15'19,26"W	0,005	4019178,925	4503955,932	2055180,987
P2	18°55'08,96"S	0,002	48°15'19,37"W	0,002	4019179,375	4503961,360	2055166,191
P3	18°55'09,10"S	0,006	48°15'21,73"W	0,005	4019126,260	4504005,660	2055169,983
P4	18°55'09,70"S	0,002	48°15'20,32"W	0,003	4019153,683	4503974,238	2055187,450

Primeiramente foi realizada uma avaliação do comportamento do dispositivo em termos de tempo de inicialização do programa para operação e manutenção dos valores de atitude (inclinações, orientação e posições). Para verificação do tempo de resolução das ambiguidades do GPS, foi realizado teste seguindo o processo de desativar o GPS, a rede de Wi-fi e desligamento completo do tablet. Uma vez reiniciado e ativado novamente o GPS apenas (situação de 1ª Etapa), o tempo de fixação da posição foi cronometrado e chegou-se ao valor de 60,9 segundos. Ao repetir este procedimento, mas usando a Wi-fi, o tempo de posicionamento obtido foi de 120,4 segundos. As etapas 2 e 3 foram realizadas com mesmo processo da primeira etapa, considerando um intervalo com o tablet desligado por 10 minutos. A figura 3 apresenta os tempos de resolução da posição pelo tablet.

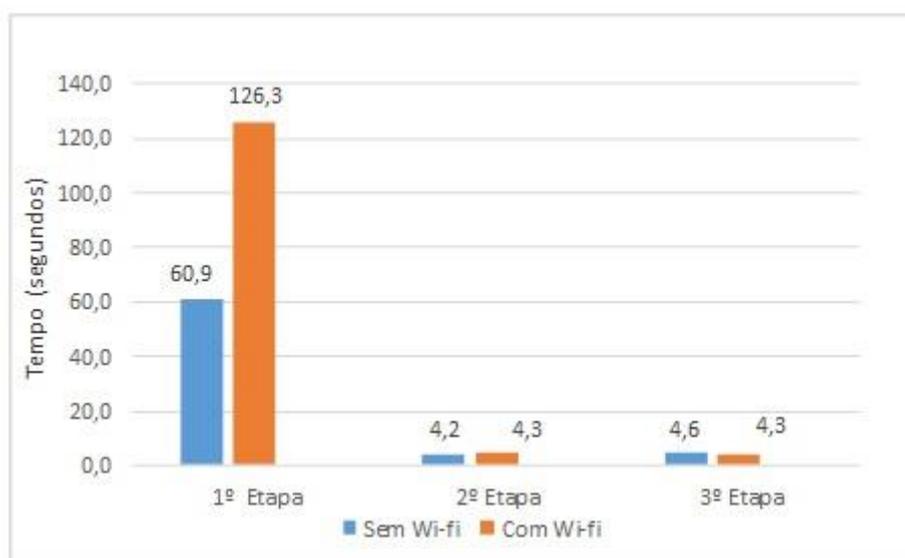


Figura 3. Tempo estabilização do sistema RA. Fonte: Autores

A análise dos resultados da primeira etapa sugere que utilizar a rede Wi-fi como refinamento do GPS, nas condições deste estudo, forneceram resultados inferiores do

que a utilização do GPS isoladamente, sendo uma das causas encontradas a instabilidade no fornecimento do sinal institucional de internet. Considerando os tempos da 2ª e 3ª Etapas nota-se que são similares e não apresentam diferenças acentuadas como na primeira etapa. Isto sugere que o dispositivo, ao definir sua posição inicial, armazena suas coordenadas aproximadas e ao prosseguir para as outras etapas, o dispositivo utiliza desde dados salvos como dados iniciais e, assim, obtendo tempos de inicialização semelhante nas duas situações.

Foi observado ao executar o levantamento dos pontos em campo, que a fixação do tablete para demarcação dos pontos gerou instabilidade da atitude de forma que o símbolo inicialmente estável passou a apresentar variações abruptas em sua posição, ora deslocando-se para muito acima da posição estabilizada e ora perdendo a orientação relativa. Para voltar a operar normalmente era necessário manter o tablet em movimento horizontal ou vertical, ou mesmo variar a distância do ponto. Ou seja, ao realizar movimento do aparelho o símbolo retornava à posição fixa de locação. Isto sugere que ao cessar o movimento, os sensores perdiam a capacidade de definição das suas orientações e que era preciso estar com certa movimentação do tablete todo o tempo. Este fato foi comprovado numa avaliação paralela com o aplicativo para androide Sensors, disponível gratuitamente na internet e que indicou que os sensores são desligados após algum tempo de repouso.

Uma variável observada que apresentou influencia na qualidade do posicionamento foi o clima. A realização em diferentes dias em diferentes condições ambientais incorreu em problemas de localização. No caso mais extremo, um dia fortemente nublado, a melhor definição dos pontos foi acima de 15 metros de variação. Em dias de céu aberto e claro, as diferenças foram significativamente menores. Estas variações não são do sistema em si, mas do sistema Gps e que é conhecido em outras áreas, pois o sinal propagado é da frequência de rádio e que sofre influências da atmosfera.

A marcação dos pontos foi realizada com a orientação da posição passada pelo usuário do sistema RA. Para cada distância do ponto de referência foram realizadas seis leituras e cravado um piquete. Em seguida, as diferenças em X e Y foram avaliadas em termos de diferenças de coordenadas em um referencial topográfico local criado na área do experimento. Modificava-se o afastamento e repetia-se o procedimento de marcação.

Com os valores de seis leituras para cada distância por ponto, foram calculadas as médias, desvios-padrão, variâncias e covariâncias apresentados na Tabela 2. Estes valores foram posteriormente avaliados na elipse de erros.

Tabela 2 – Dados coletados em campo com desvio padrão,

Distância do tablete ao ponto (m)	Desvios das coordenadas segundo eixos de orientação (em m)															
	Ponto P1				Ponto P2				Ponto P3				Ponto P4			
	X (m)	σ_x	Y (m)	σ_y	X (m)	σ_x	Y (m)	σ_y	X (m)	σ_x	Y (m)	σ_y	X (m)	σ_x	Y (m)	σ_y
1	0,55	0,139	0,10	0,136	2,10	0,084	-0,60	0,071	-0,80	0,045	-0,10	0,077	0,70	0,000	0	0,000
2	0,07	0,152	0,55	0,101	2,60	0,065	-0,88	0,068	1,20	0,041	0,89	0,066	1,71	0,053	0	0,000
3	0,32	0,025	0,80	0,071	4,60	0,071	-0,78	0,082	0,00	0,071	-1,22	0,082	3,00	0,063	0	0,105
4	0,30	0,055	2,52	0,366	2,80	0,200	-0,70	0,071	0,10	0,032	-2,60	0,055	3,79	0,038	0	0,000
5	0,17	0,045	3,78	0,113	4,28	0,052	-0,53	0,075	1,82	0,052	5,5	0,110	5,28	0,069	0	0,063

Distância do tablete ao ponto (m)	Variâncias e covariâncias das coordenadas segundo eixos de orientação (em m)											
	Ponto P1			Ponto P2			Ponto P3			Ponto P4		
	σ_x^2	σ_y^2	σ_{xy}	σ_x^2	σ_y^2	σ_{xy}	σ_x^2	σ_y^2	σ_{xy}	σ_x^2	σ_y^2	σ_{xy}
1	0,019	0,049	0,0149	0,007	0,005	-0,0005	0,002	0,006	0,0005	0,000	0,000	0,000
2	0,028	0,010	0,0009	0,005	0,005	-0,0035	0,002	0,004	0,0014	0,003	0,000	0,000
3	0,001	0,005	-0,0008	0,005	0,007	-0,0040	0,005	0,007	0,0008	0,004	0,011	-0,0050
4	0,003	0,134	0,0160	0,040	0,005	-0,0030	0,001	0,003	0,0013	0,001	0,000	0,000
5	0,002	0,013	0,0026	0,003	0,006	0,0033	0,003	0,012	0,0642	0,005	0,004	0,0020

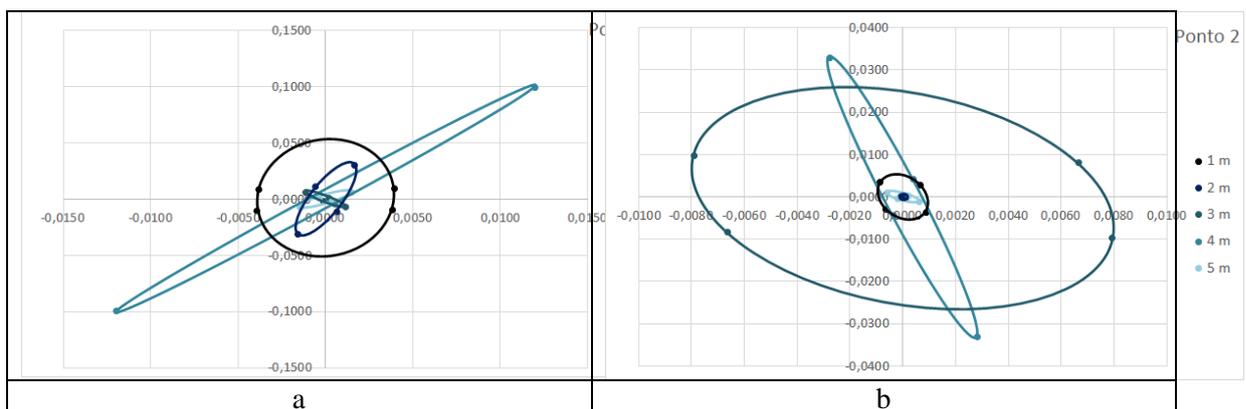
De modo geral, os maiores desvios de coordenadas são no eixo Y, com intensidades variando de centímetros a metros. Esta tendência para Y é percebida em rastreadores de código C/A, chamados de Gps de navegação, e tem influência direta das configurações do entorno do ponto rastreado.

Para o ponto P1 suas condições podem ser consideradas de espaço aberto, com árvores densas a uma distância de 20 metros e construções alta em um raio de 30 metros, neste caso nota-se uma melhor precisão de dados se comparados aos demais ponto. Afastando-se do ponto P1 nota-se que o desvio padrão diminui na direção X mas aumentando na direção Y.

O ponto P2 é localizado próximo ao prédio da Faculdade de Engenharia Civil, portanto tem num raio de 5 metros uma construção alta e com raio de 10 metros sem presença de árvores. A precisão deste ponto ficou na ordem de metros, contudo pode observa que ocorreu uma menor dispersão dos valores com relação ao eixo Y. Contrário ao apresentado no ponto P1, ao se aproximar da edificação, que tem fixada numa de suas laterais a antena de Wi-Fi usadas no experimento, houve redução da dispersão ao longo do eixo Y. Portanto, pode deduzir que quanto mais próximo do ponto de rede menor as dispersões de coordenadas.

A localização do ponto P3 foi escolhida por situar próximo ao prédio e tendo um ponto da RBMC num raio de 5 metros, analisando os dados da Tabela 4 observa que apresentou os melhores resultados de média dos pontos e também mantendo uma baixa dispersão de dados variando a distância do ponto. Não é possível afirmar, contudo, que a proximidade da RBMC apresente vantagens como no caso do ponto anterior, devido as distâncias consideradas no experimento não ser nunca superior a 140 metros.

O último ponto, P4, foi situado sob árvores e distanciado 20 metros de construção alta. Esta configuração resultou em um erro nos registros dos dados, pois todas as coordenadas Y resultaram em zero. Nota-se que os valores de dispersão em X sofreram pequenas variações entre si, mas isso não significa que estejam corretos visto o problema ocorrido nas coordenadas Y. Os valores da tabela 2 foram usados para calcular a Elipse de Erros (GEMAEL, 1994, AMORIM, 2005), modificada do Círculo de Mohr. A figura 5 apresenta as elipses para cada um dos pontos. A escala dos eixos apresentados está em metros.



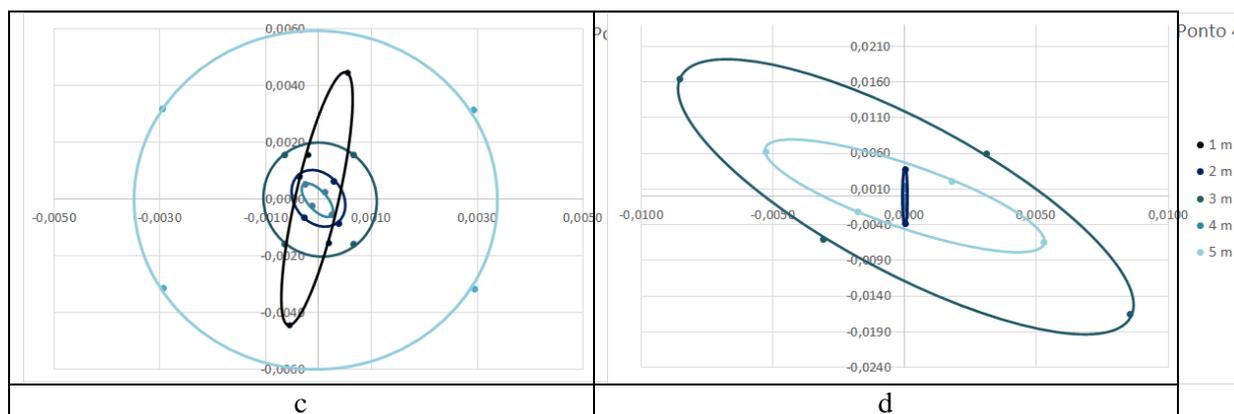


Figura 5. Elipse de erros no posicionamento da locação a) p1, b) p2, c) p3 e d) p4

Para o ponto P1 suas condições podem ser consideradas de espaço aberto, resultou em uma alta precisão na localização demonstrada pelos eixos das elipses abaixo de 1,5cm em X e 10cm em Y para todas as distâncias. O ponto P2, localizado num raio de 5 metros uma construção alta e com raio de 10 metros sem presença de árvores, apresentou os melhores resultados entre os pontos considerados. Este ponto obteve alta precisão, ficando abaixo dos 8cm para X e Y. O ponto P3, apesar de baixos valores dos eixos das suas elipses, cerca de 3 cm, apresentou uma correlação direta entre os seus desvios de forma que as elipses de erros se degeneraram em círculos para as medidas realizadas nas distâncias de 2 a 5m. O ponto 4, foi mantido na análise para se avaliar a influência do erro sistemático na precisão da medida. Além dos valores relativamente maiores, as elipses estão tendenciosas devido à falta de informação nas leituras realizadas.

Analisando as covariâncias calculadas (σ_{xy}), apresentadas na tabela 2, como quase todas covariâncias retornaram valores próximos a zero, está caracterizada a leitura de variáveis independentes. Portanto, o desvio de coordenadas em um dos eixos não tem influência significativa sobre o outro eixo. Contudo, analisando as elipses de um mesmo ponto, percebe-se que as orientações variam de forma aparentemente aleatória. Sem maiores aprofundamentos no controle de dados do tablete e, em razão da instabilidade do sinal de internet e do sinal GPS em função das obstruções, esta variação remete ao erro de orientação dos dispositivos que se utilizam do código C/A. Estima-se que esse erro não tenha influência em um canteiro de obras desobstruído e com sinal de internet estabilizado, porém maiores pesquisas são necessárias neste ponto.

5. Conclusão

O campo de aplicação da RA an engenharia civil é vasto e ainda pouco explorado. A ideia principal desenvolvida nesta pesquisa foi a comparação entre os métodos convencionais e a aplicação da RA como um método inovador e de baixo custo na locação de obras a curta distância. Por questões de programação e hardware do equipamento utilizado não foram obtidos os mesmos níveis de precisão. Contudo analisando os dados obtidos no campo obteve-se importantes resultados para a aplicação da Realidade Aumentada em trabalhos de engenharia.

Assim como em outros dispositivos que utilizam GPS o clima, em especial a presença de nuvens em grande quantidade, é um fato crucial para obtenção de melhores resultados. Quando realizada a captura de coordenadas em dias nublados a precisão do aparelho foi afetada significativamente tendo que desconsiderar os dados coletados, e repetindo-se o levantamento em dias com melhores condições climáticas.

A qualidade e largura de banda na transmissão de internet parecem ser um fator importante para a estabilidade do ponto durante a marcação. Assim também para a inatividade dos sensores. Seria necessário reavaliar novas condições no mesmo sensor e outros dispositivos para uma conclusão sobre este ponto.

A conclusão mais importante surge pela análise das elipses de erros. Ao se comparar as precisões dos desvios das coordenadas e dos eixos das elipses, percebe-se que apesar de preciso o sistema não é acurado. Ou seja, mesmo eliminados os erros descritos para GPS e internet, a locação sofrerá com erros sistemáticos que causam desvios à nordeste (XY), mesmo que a dispersão entorno do ponto seja relativamente pequena. Além disso, a forma como o ponto é colocado no terreno e seus entornos contribuem para maior ou menor qualidade da locação.

Por estes fatos e os demais apresentados nos resultados, ainda é possível considerar o RA para locações de obra, devendo recorrer a equipamentos mais sofisticados e com uma internet estável.

Agradecimentos

Parte desta pesquisa contou com apoio do CNPq através do Edital nº 04/2012.

Referências

- ABNT.** *NBR14166-1998. Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento*
- AMORIM, G. P.** *Ajustamento de Observações.* Em G. P. Amorim, Formação Continuada em Georreferenciamento Aplicado ao Cadastro Rural (p. 130). Ministério da Educação 2005
- BEHZADAN, A. H., TIMM, B. W. & KAMAT, V. R.** *General-purpose modular hardware and software framework for mobile outdoor augmented reality applications in engineering.* Advanced Engineering Informatics 22 (2008) 90–105. www.sciencedirect.com
- DALMOLIN, Q.** *Ajustamento por mínimos quadrados.* Departamento de Geomática-UFPR. Curitiba, 2002
- GEMAEI, C.** *Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas.* 1994, 320 pp. ISBN: 8585132922
- GIMENO, J., MORILLO, P., CASAS, S. & FERNANDEZ, M.** *An Augmented Reality (AR) CAD System at Construction Sites, Augmented Reality - Some Emerging Application Areas.* Ed. Andrew Yeh Ching Nee. 2011. ISBN: 978-953-307-422-1, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/augmented-reality-some-emerging-application-areas/an-augmented-reality-ar-cad-system-at-construction-sites>
- SCHMIDT, M.A.R. & SILVA, P.P.M.** *Avaliação da variação dos parâmetros de calibração de câmeras não métricas com a variação da distância.* Revista de Engenharia e Tecnologia V. 7, No. 3, Ago/2015 ISSN 2176-7270
- TORGE, W.** 3rd ed. Walter de Gruyter. 320pp. 2001. ISBN 3-11-017072-8.
- VAN BERLO, L., HELMHOLT, K. A., & HOEKSTRA, W.** *C2B: Augmented reality on the construction site.* 9th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality. 2009. Disponível em: http://bimserver.org/wp-content/uploads/2012/02/CONVR2009_C2B_v1-1.pdf
- VAN TONDER, B. & WESSON, J.** *Using Adaptive Interfaces to Improve Mobile Map-Based Visualisation.* Anais: Annual research conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists ACM International Conference Proceeding Series. Vol. 338. 2008. Wilderness, South Africa. Pp 257-266. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1456659.1456689>
- VEAS, E.; GRASSET, R.; FERENCIK, I.; GRÜNEWALD, T. & SCHMALSTIEG, D.** *Mobile augmented reality for environmental monitoring.* Pers Ubiquit Comput (2013) 17:1515–1531 DOI 10.1007/s00779-012-0597-z Springer-Verlag London
- ZHANG, Z.** "A flexible new technique for camera calibration", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330–1334, 2000.