

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE COORDENADAS NOS SISTEMAS GEODÉSICO LOCAL E UTM BASEADA EM UMA POLIGONAL FECHADA

Marcio Bezerra da Silva¹, Weyller Diogo A. Melo², Ermerson de Vasconcelos Silva³, José Paulo de Santana Neto⁴, Alex da Silva Araújo⁵, Andréa de Seixas⁶

¹Eng^o Cartógrafo, Mestrando em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, UFPE, Recife – PE, smarcio817@gmail.com

²Eng^o Cartógrafo, Mestrando em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, UFPE, Recife – PE, wdiogo@gmail.com

³Tecn^o Geoprocessamento, Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, UFPE, Recife - PE, ermersonvs@outlook.com

⁴Eng^o Cartógrafo, Professor Substituto do Depto. de Engenharia Cartográfica, UFPE, Recife – PE, jpaulo32@gmail.com

⁵Eng^o Cartógrafo, Mestrando em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, UFPE, Recife – PE, alex2012ufpe@gmail

⁶Eng^a Cartógrafa, Professora do Depto. de Engenharia Cartográfica, UFPE, Recife – PE, aseixas@ufpe.br

RESUMO: Este trabalho faz uma análise comparativa entre as coordenadas definidas no Sistema Geodésico Local (SGL) e no Sistema UTM SIRGAS2000 com base no método da poligonização. Foi feito um estudo dos elementos geométricos de uma poligonal fechada fictícia, considerando como vértices os marcos geodésicos da Rede de Referência Cadastral – RRC – da UFPE. Com isso, a partir de procedimentos matemáticos, foram obtidos os respectivos ângulos internos, distâncias planas e áreas no STL e no Sistema UTM. Neste experimento, constataram-se discrepâncias significativas entre os elementos geométricos da poligonal fechada, citados anteriormente, principalmente, na determinação de área e de distâncias relacionadas a cada Sistema.

PALAVRAS-CHAVE: poligonal fechada, sistema de referência topocêntrico, sistema UTM

INTRODUÇÃO: A determinação de coordenadas na superfície física da Terra, utilizando o posicionamento por satélites através da técnica *Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global (GPS), tem se tornado tarefa comum em vários campos de aplicação. Demonstrando que é possível se obter resultados com os mais variados níveis de precisão, dependendo do equipamento utilizado, da metodologia adotada e do processamento empregado (CORDINI et al., 1998). O Sistema Geodésico de Referência (SGR) associado ao GPS, quando se utilizam efemérides transmitidas, é o WGS 84, ou seja, quando se realiza um levantamento com a técnica GPS em sua forma convencional as coordenadas obtidas dos pontos envolvidos são obtidas nesse SGR. Entretanto, o uso das coordenadas obtidas nos levantamentos geodésicos em aplicações práticas em projetos da engenharia, deve considerar o Sistema de Coordenadas Terrestre Local. Um Sistema de Coordenadas Terrestre Local proporciona apoio para os levantamentos tridimensionais, locais, normalmente, empregados na topografia. O Sistema Geodésico Local (SGL) pode ser definido com respeito a uma normal ao elipsoide ou ao vetor de gravidade local (Sistema Astronômico Local - SAL) (MONICO, 2008). O Sistema de Coordenadas Cartesiano Tridimensional é constituído de três eixos perpendiculares, a origem do Sistema é a intersecção dos dois eixos da elipse; o eixo X, coincidente com o plano equatorial e positivo na direção da longitude 0°, e o eixo Y, também situado no plano equatorial, e positivo na direção da longitude 90°, o eixo Z é paralelo ao eixo de rotação da Terra e é positivo na direção do norte. Se a origem do Sistema está localizada no centro de massa da Terra, suas coordenadas são denominadas de geocêntricas e, em caso contrário, de topocêntricas (DAL'FORNO et al., 2010). Neste artigo o sistema topocêntrico local será sinônimo do geodésico local. Os Sistemas Tridimensionais Geocêntricos passaram a ter grande importância após o surgimento da Tecnologia do GNSS, ou seja, da Geodésia por Satélites. As coordenadas fornecidas pelo GNSS são geocêntricas cartesianas tridimensionais. Equações matemáticas transformam essas coordenadas cartesianas em coordenadas elipsoidais (latitude geodésica, longitude geodésica e altura elipsoidal) e, posteriormente, caso haja necessidade, em coordenadas planas, tais como as coordenadas Este (E) e Norte (N) da projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) ou as coordenadas de um STL, para uso em engenharia (SOUZA, 2012). Portanto, este trabalho tem como objetivo verificar as diferenças existentes entre os elementos geométricos de uma poligonal fechada (ângulos internos, distâncias planas e áreas), determinados a partir das coordenadas dos vértices de uma poligonal, obtidas em um STL e no Sistema UTM SIRGAS2000.

MATERIAS E METODOS: Este trabalho teve como base o estudo das análises de discrepâncias ocorridas quando da utilização do Sistema de Projeção UTM e o STL na determinação de ângulos internos, distâncias planas e áreas de uma poligonal fechada. Os dados foram obtidos de um artigo do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, com o tema: “Análise do Ajustamento por Mínimos Quadrados de uma Trilateração Topográfica com Injunções nos Planos UTM e Topocêntrico” (MENDONÇA et al., 2010). Neste artigo se encontram as coordenadas UTM e Topocêntricas Locais (Geodésicas Locais) dos marcos geodésicos (EPS01, EPS02, EPS03, EPS04, EPS05, EPS06 e EPS07) da Rede de Referência Cadastral (Figura 1) do Campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, assim como as coordenadas da sua origem Topocêntrica Local.

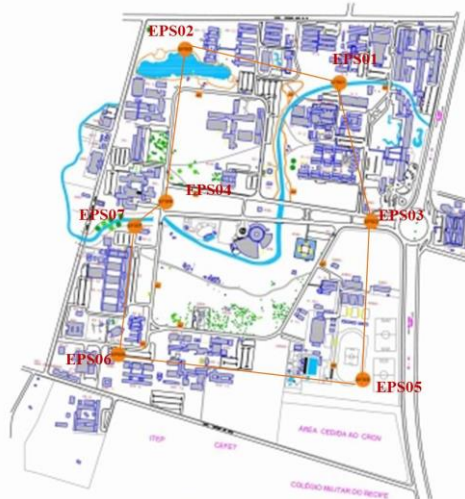


Figura 1 - Geometria da Rede de Referência Cadastral, respectivos marcos geodésicos - Campus Joaquim Amazonas da UFPE, Recife-PE e poligonal fechada e fictícia em estudo. Fonte adaptada: VILA FLOR (2010).

Neste trabalho foi criada uma poligonal fechada que pode ser visualizada na Figura 1, tendo como vértices os marcos geodésicos da RRC da UFPE, seguindo a ordem descrita na Figura 1. A poligonal é composta por sete vértices (7 ângulos internos e 7 distâncias planas). A partir das coordenadas UTM e do STL foram realizados cálculos utilizando o programa *Excel*. O STL é definido como um plano tangente ao elipsóide, cuja tangência é a origem. Esta possui coordenadas geodésicas e cartesianas tridimensionais conhecidas: (φ, λ, h) e (X_0, Y_0, Z_0) , respectivamente. É sobre esta origem onde passa a normal ao elipsóide (GHILANI & WOLF, 2013). A Figura 2 ilustra o STL e o Sistema de Coordenadas Cartesianas Geocêntricas.

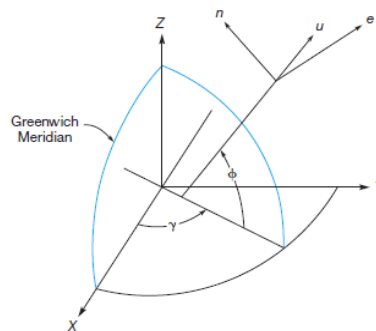


Figura 2 – Sistemas de Coordenadas Cartesianas Tridimensionais (X, Y, Z) e Topocêntrico Local (e, n, u). Fonte: (GHILANI & WOLF, 2013).

Para a determinação do plano tangente ao elipsóide basta considerar o ponto de origem tendo as coordenadas locais definidas como: $e = 150000,000$ m; $n = 250000,000$ m (NRB 14166, 1998). Na NBR 14166 (1998), considera-se e igual a X e n igual a Y . Para determinar as coordenadas Geodésicas Locais de outros pontos a partir das coordenadas Geocêntricas destes aplica-se uma matriz de rotação e um vetor de translação (DAL' FORNO et al., 2010). A Equação 1 determina as variações (Δe , Δn , Δu) que devem ser aplicadas ao ponto de origem para que as coordenadas de outros pontos sejam determinadas (GARNÉS, 2005), considerando-se os Sistemas Geocêntricos e Topocêntricos ilustrados na Figura 2.

$$\begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta n \\ \Delta u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen}\lambda & \text{cos}\lambda & 0 \\ -\text{sen}\varphi\text{cos}\lambda & -\text{sen}\varphi\text{sen}\lambda & \text{cos}\varphi \\ \text{cos}\varphi\text{cos}\lambda & \text{cos}\varphi\text{sen}\lambda & \text{sen}\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde: as coordenadas (X_0, Y_0, Z_0) são as coordenadas cartesianas geocêntricas do ponto de origem, e (φ, λ, h) são as coordenadas geodésicas do mesmo ponto; neste trabalho o ponto de origem considerado para o STL foi a estação RECF (MENDONÇA et al. 2010), pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC – cujas coordenadas (geodésicas e cartesianas) podem ser encontradas na página da *internet* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O Sistema UTM foi recomendado pela IUGG (*International Union of Geodesy and Geophysics*) para a Cartografia em pequenas e médias escalas e foi adotado em 1955 para o mapeamento sistemático do Brasil. Este Sistema, conforme Oliveira et al. (2012), tem as seguintes características: A superfície de projeção é um cilindro transversal secante e a projeção é conforme; a Terra é dividida em 60 fusos ou zonas de 6° de longitude; a numeração dos fusos varia de 1 a 60, começando no anti-meridiano de Greenwich, crescendo no sentido Leste; no sentido da latitude o sistema vai de 80°S até 80°N. Portanto, usar o Sistema UTM para realizar um transporte de coordenadas sem que haja as devidas correções, os resultados finais podem apresentar diferenças significativas; em contrapartida, o STL cria um plano que é tangente ao elipsoide, possibilitando o transporte de coordenadas de forma mais simples.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Foi realizado um experimento visando a comparação entre os resultados do cálculo de distâncias planas, ângulos internos e áreas nos sistemas de coordenadas e e n definidas no STL e coordenadas E e N definidas no Sistema UTM. Para isso foi definida uma poligonal fechada e fictícia formada pelos marcos geodésicos EPS01, EPS02, EPS04, EPS07, EPS06, EPS05, EPS03 e fechando no EPS01 (Figura 1), obedecendo esta ordem. As coordenadas desses marcos geodésicos são conhecidas e podem ser encontradas tanto no STL quanto no Sistema UTM SIRGAS2000 em (MENDONÇA et al., 2010). Foi estabelecido um itinerário entre os vértices trabalhados, simulando um caminhamento realizado em uma poligonal fechada convencional. A Tabela 1 a seguir exibe os valores calculados para cada distância plana e respectivo lado da poligonal, tanto no Sistema UTM quanto no STL, assim como as respectivas diferenças.

Tabela 1 - Valores calculados das distâncias planas no Sistema UTM e no Sistema Topocêntrico Local, e suas respectivas discrepâncias.

Plano Geodésico Local		Plano UTM		Diferença
Alinhamento	Dist. (m)	Alinhamento	Dist. (m)	(m)
EPS02 – EPS04	484,7733	EPS02 – EPS04	484,8565	0,0833
EPS04 – EPS07	117,9772	EPS04 – EPS07	117,9982	0,0210
EPS07 – EPS06	403,9015	EPS07 – EPS06	403,9720	0,0705
EPS06 – EPS05	763,6034	EPS06 – EPS05	763,7349	0,1315
EPS05 – EPS03	485,4404	EPS05 – EPS03	485,5225	0,0821
EPS03 – EPS01	442,6082	EPS03 – EPS01	442,6837	0,0755
EPS01 – EPS02	491,8377	EPS01 – EPS02	491,9219	0,0843

De acordo com a Tabela 1, pode-se perceber que existe uma proporcionalidade entre as distâncias planas obtidas no Sistema UTM e STL e suas respectivas. Como é possível verificar o alinhamento EPS06-EPS05 possui a maior distância plana e conseqüentemente a maior diferença; assim como, o alinhamento EPS04-EPS07 é o que possui menor distância plana, portanto, menor diferença. Em seguida, utilizou-se da relação entre rumos e azimutes para se determinar o ângulo interno de cada vértice que compõe a poligonal fechada, para comparação entre os ângulos internos obtidos nos

diferentes Sistemas de Referência. Com a diferença de azimutes entre os alinhamentos dos lados da poligonal, pode-se determinar o valor do ângulo interno de cada vértice em relação aos seus alinhamentos de ré e vante. A Tabela 2, a seguir exibe os valores encontrados para cada ângulo interno calculados nos Sistemas: Geodésico Local e UTM, bem como as discrepâncias entre os valores em segundos.

Tabela 2 - Ângulos internos calculados nos Sistemas: Geodésico Local e UTM e suas respectivas discrepâncias

	STL [graus]		UTM [graus]	Discrep. [s]
EPS02	87,32598115	EPS02	87,32583361	-0,531
EPS04	223,0556854	EPS04	223,055846	0,578
EPS07	135,0139175	EPS07	135,0136716	-0,885
EPS06	87,94322159	EPS06	87,94316793	-0,193
EPS05	87,79411528	EPS05	87,79408421	-0,112
EPS03	166,2254412	EPS03	166,2257216	1,009
EPS01	112,6416379	EPS01	112,6416751	0,134

De acordo com a Tabela 2 é verificado que a maior discrepância, em módulo, foi do ângulo interno do vértice EPS03. É possível perceber também que não há, aparentemente, uma tendência para a discrepância dos ângulos, ora são positivas, ora são negativas; porém, vale ressaltar, que há a diferença, o que significa dizer que os dois Sistemas não são iguais. A última comparação realizada foi em relação aos valores de áreas calculados, onde o método utilizado foi o método de Gauss, normalmente utilizado em Topografia para se determinar a área de polígonos. A técnica consiste na multiplicação de coordenadas X e Y dos pontos consecutivos, seguindo a relação, Equação 2 (ESPARTEL, 1987).

$$\begin{aligned} \text{Área} = \frac{1}{2} (&+X_{EPS02}Y_{EPS04} + X_{EPS04}Y_{EPS07} + X_{EPS07}Y_{EPS06} + X_{EPS06}Y_{EPS05} + X_{EPS05}Y_{EPS03} + \\ &X_{EPS03}Y_{EPS01} + X_{EPS01}Y_{EPS02} - X_{EPS04}Y_{EPS02} - X_{EPS07}Y_{EPS04} - X_{EPS06}Y_{EPS07} - X_{EPS05}Y_{EPS06} - \\ &X_{EPS03}Y_{EPS05} - X_{EPS01}Y_{EPS03} - X_{EPS02}Y_{EPS01}) \end{aligned} \quad (2)$$

Ao final do cálculo obtiveram-se os resultados para as áreas calculadas no STL e no Sistema UTM, bem como a diferença de valor final para área em cada Sistema. A Tabela 3 exibe os valores encontrados.

Tabela 3 – Área plana calculada nos Sistemas: Geodésico Local e UTM e sua respectiva discrepância.

Área Plano Topocêntrico m ²	614052,070
Área Plano UTM m ²	614262,592
Diferença m ²	210,523

Portanto, com o resultado pode-se constatar a diferença que existe ao se trabalhar entre o Sistema Topocêntrico Local e UTM. Os resultados deixam claros e reafirmam o cuidado que se deve ter quando são considerados os diferentes Sistemas de Referências. Portanto, enfatiza-se o cuidado de saber que tipo de Sistema de Referência está sendo utilizado, se é o Sistema UTM ou STL.

CONCLUSÕES: Na comparação entre valores angulares, lineares e de área, obtidos no plano Topocêntrico Local e no plano UTM por meio das coordenadas advindas destes Sistemas, foram observadas algumas diferenças: em geral, os valores de distância plana apresentaram uma discrepância média de 78 mm, para os valores angulares em segundos a média foi de 0,49 segundos e para a área a diferença foi de 210 m². Essas diferenças ocorrem devido à natureza matemática de cada Sistema de Projeção, enquanto que o Plano Topocêntrico Local se baseia em um plano tangente ao elipsoide, o plano UTM é formado a partir de um cilindro transversal secante ao elipsoide. Portanto, com os resultados apresentados, pode-se constatar a diferença que existe ao se trabalhar de forma deliberada entre os Sistemas Topocêntrico Local e UTM.

AGRADECIMENTOS: Ao Projeto PQ-Multiusuário Edital 2014 Propesq/UFPE, ao DECart, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação e à CAPES.

REFERÊNCIAS:

ABNT. NBR – 14166 – **Rede de Referência Cadastral Municipal**. 1998.

CORDINI, J.; GARNÉS, S. J. A.; MORAES, C. V.; NADAL, C. A. **Transformações de Referenciais Geodésicos**. COBRAC 98 – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 18 a 22 de Outubro de 1998.

DAL'FORNO, G. L.; AGUIRRE, A. J.; HILLEBRAND, F. L.; GREGÓRIO, F. V. **Transformação de Coordenadas Geodésicas em Coordenadas no Plano Topográfico Local Pelos Métodos da Norma NBR 14166;1998 e o de Rotações e Translações**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife-PE, 2010.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Editora Globo, 1987.

GARNÉS, S. J. A.; SIQUEIRA, V. P.; CACHO, J. P. **Definição para implantação do Sistema Topográfico Local de Campo Grande- MS e análise das fórmulas da NBR 14166**. IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas - IV CBCG. Curitiba. 2005.6p.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Geomática** – tradução Daniel Vieira, revisão técnica Alessandro Salles Carvalho – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

MENDONÇA, F. J. B. GARNÉS, S. J. A. PEREIRA, C. M. NETO, J. A. B. MELO, W. D. A. **Análise do Ajustamento por Mínimos Quadrados de uma Trilateração Topográfica com Injunções nos Planos UTM e Topocêntrico**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010 p. 001 – 009.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2 ed. - São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

OLIVEIRA, R. N. Q. SILVA, D. C. **Sistemas de Projeção Transversa de Mercator no Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012.

SOUZA, W. O. **Aplicação de Métodos para Determinação do Desvio da Vertical na Integração de Posicionamento GNSS com Levantamentos Topográficos**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife-PE, 2012.

VILA FLOR, C. D. R. **Rede geodésica cadastral do campus Recife da UFPE: Fase I – planejamento e implantação da rede principal**. Trabalho final de graduação - Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.