



UTILIZAÇÃO DE COORDENADAS PSEUDOUTM NO TRANSPORTE DE COORDENADAS UTM SOBRE O PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL EM REGIÕES DE FRONTEIRA

P. F. B. Baratto¹, V. E. Martins², R. F. Neto³, L. N. Silveira⁴, E. C. Nedel⁵

¹Universidade Federal do Pampa, Brasil

²Universidade Federal do Pampa, Brasil

³Universidade Federal do Pampa, Brasil

⁴Universidade Federal do Pampa, Brasil

Comissão III - Cartografia

RESUMO

Este trabalho propõe o uso de coordenadas pseudoUTM, visando facilitar o intercâmbio de dados entre o Plano Topográfico Local e o sistema de coordenadas UTM para obras internacionais de integração em regiões de fronteira, com uma área de estudo situada na cidade de Itaqui- RS (fronteira Brasil-Argentina), além de gestão territorial fronteiriça. As coordenadas pseudoUTM são coordenadas que mantêm algumas características do sistema plano UTM como o azimute de quadrícula e as constantes das coordenadas, porém com as distâncias referenciadas ao plano horizontal local, onde a base para a criação desse plano são as coordenadas UTM reais. A Argentina utiliza como plano de projeção cartográfica o sistema Gauss-Krüger, no entanto, como UTM e Gauss-Krüger são variantes do sistema transversal de Mercator (TM), não há qualquer dificuldade, quanto à formulação matemática, em transformar as coordenadas em pseudoUTM, permitindo a otimização de projetos internacionais envolvendo a fronteira entre os dois países.

Palavras chave: PseudoUTM, Coordenadas, Plano Topográfico Local.

ABSTRACT

This work proposes the use of pseudoUTM coordinates, in order to facilitate the exchange of data between the Local Topographic Plan and the UTM coordination system for international works of integration in border regions, in a study area located in then city of Itaqui – RS (Brazil-Argentina border), and a border territorial management. The pseudoUTM coordinates are coordinates that maintain some characteristics of the UTM plane system as the grid azimuth and the coordinate constants, but keeping the distances referenced to the local horizontal plane, where the basis for the creation of this plane are the real UTM coordinates. Argentina uses as a map projection plane the Gauss-Kreger system, however, as UTM and Gauss-Krüger are variants of the Mercator transverse system (TM), there is no difficulty, as for the mathematical formulation, to transform the coordinates into pseudoUTM, allowing the optimization of international projects involving the border between the two countries.

Keywords: PseudoUTM, Coordinates, Local Topographic Plan.

1 INTRODUÇÃO

Houve nas últimas décadas avanços tecnológicos significativos, na qual foram desenvolvidos técnicas e sistemas que possibilitaram o posicionamento geodésico/cartográfico com maior precisão e acurácia, com destaque para a grande ascensão das geotecnologias, entre elas o desenvolvimento dos sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Segundo Silva e Frederico (2014), o uso intensivo da Geodesia Espacial facilitou a obtenção de coordenadas geodésicas de pontos, o que favoreceu a

sua representação em sistemas de projeções cartográficas, como é o caso da UTM, que conduz a distorções incompatíveis com a exatidão requerida em alguns trabalhos de engenharia de modo geral.

Atualmente o sistema UTM é aplicado em trabalhos geodésicos para a implantação de projetos de engenharia e cadastros. De acordo com Dal’Forno et al., (2010), o uso do Sistema de Coordenadas Terrestres Local, tradicionalmente definido no Plano Topográfico Local (PTL), indubitavelmente é o que

possibilita operacionalizar com maior exatidão a implantação de obras e de plantas cadastrais.

Muitos profissionais que atuam em obras de engenharia ignoram ou desconhecem os aspectos técnicos da base de dados cartográficos/geodésicos que utilizam, especialmente no que concerne ao sistema de coordenadas de referência para a confecção e implantação dos projetos, sendo que em regiões de fronteira internacional o problema se reveste de importância ainda maior, principalmente quanto às obras de integração e delimitação dos limites. No caso da fronteira Brasil-Argentina, grande parte das bases cartográficas utilizadas para a criação e execução de projetos encontra-se ou no sistema UTM - Universal Transversa de Mercator (utilizado no Brasil) ou, segundo o Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la Republica Argentina (2017), no sistema Gauss-Krüger.

Como área de estudo da aplicabilidade do método em uma região de fronteira, foi utilizado o campus da Universidade Federal do Pampa situado no município de Itaqui – RS, fronteira com a República Argentina. A partir do levantamento topográfico de uma poligonal enquadrada na área em questão, a distorção linear inerente ao sistema de coordenadas UTM foi minimizada. Como os azimutes não são alterados e a área de abrangência é pequena, podem ser negligenciados os efeitos da convergência meridiana e do coeficiente de redução angular. Uma vez que se tenha essas correções calculadas para toda a área, é possível a obtenção das coordenadas UTM de qualquer ponto em seu interior no Plano Topográfico Local a partir das coordenadas pseudoUTM e fator de deformação linear como parâmetro de transformação.

Este trabalho propõe o uso de coordenadas pseudoUTM, visando facilitar o intercâmbio de dados entre o Plano Topográfico Local e o sistema de coordenadas UTM (em detrimento ao sistema Gauss-Krüger) para obras internacionais de integração Brasil-Argentina e gestão territorial fronteiriço.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Diferente do plano topográfico arbitrário, cuja superfície é perpendicular a vertical do lugar, o PTL é orientado segundo a normal à superfície de referência (elipsoide) no ponto de origem do levantamento (ABNT, 1998), desconsiderando, desta forma, os erros sistemáticos causados pela curvatura da Terra e pelo desvio da vertical.

Para Torge (2001), a superfície sólida da Terra tem um formato totalmente irregular e é nela que se efetuam as diversas operações topográficas e geodésicas.

Em muitos trabalhos para determinação da posição de pontos sobre a superfície terrestre, são empregando os métodos clássicos de levantamento topográfico, podendo ser utilizado como sistema de referência, o PTL, que é a superfície de projeção

tangente à superfície terrestre, sendo no ponto de origem do levantamento perpendicular à vertical do lugar, uma vez que este plano não leva em consideração a curvatura terrestre (ABNT, 1998).

2.1 Plano Topográfico Local

Segundo Dal’Forno et al., (2010), O Plano Topográfico Local não considera a curvatura da Terra, sendo perpendicular à vertical do lugar no ponto da superfície terrestre, considerado como origem do levantamento.

A norma para transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares, no PTL é a NBR 14166 (Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento).

A seguir, são apresentadas as equações para se efetuar o procedimento de transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares no PTL, com base na NBR 14166, e alterações necessárias para a transformação em pseudoUTM.

$$X_p = E_o + x_p \quad (1)$$

$$Y_p = N_o + y_p \quad (2)$$

$$x_p = \Delta\lambda_1 \cdot \cos(\phi_p) \cdot N_p \cdot \text{sen } 1'' \cdot c \quad (3)$$

$$y_p = \frac{1}{B} \cdot [\Delta\lambda_1 + C \cdot x_p^2 + D \cdot \Delta\lambda_1^2 + E \cdot \Delta\lambda_1^2 \cdot x_p^2 + E \cdot C \cdot x_p^2] \cdot c \quad (4)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_o - \lambda_p \quad (5)$$

$$\Delta\phi = \phi_o - \phi_p \quad (6)$$

$$\Delta\lambda_1 = \Delta\lambda'' \cdot [1 - 3,9173 \cdot 10^{-12} \cdot (\Delta\lambda'')^2] \quad (7)$$

$$\Delta\phi_1 = \Delta\phi'' \cdot [1 - 3,9173 \cdot 10^{-12} \cdot (\Delta\phi'')^2] \quad (8)$$

$$B = \frac{1}{M_o \cdot \text{sen } 1''} \quad (9)$$

$$C = \frac{\tan(\phi_o)}{2 \cdot M_o \cdot N_o \cdot \text{sen } 1''} \quad (10)$$

$$D = \frac{3 \cdot e^2 \cdot \text{sen}(\phi_o) \cdot \cos(\phi_o) \cdot \text{sen } 1''}{2 \cdot [1 - e^2 \cdot \text{sen}^2(\phi_o)]} \quad (11)$$

$$E = \frac{1 + 3 \cdot \tan(\phi_o)}{6 \cdot N_o^2} \quad (12)$$

$$c = \frac{R_o \cdot H_t}{R_o} \quad (13)$$

$$R_o = \sqrt{M_o \cdot N_o} \quad (14)$$

$$M_0 = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \sin^2(\phi_0))^{3/2}} \quad (15)$$

$$N_0 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2(\phi_0)}} \quad (16)$$

$$N_p = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2(\phi_p)}} \quad (17)$$

$$e = \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2} \right)^2 \quad (18)$$

2.2 Sistema de coordenadas plano retangulares UTM

A projeção UTM é uma projeção cilíndrica transversa, analítica, conforme, que tem como objetivo minimizar as deformações de um mapa até níveis toleráveis, representando-os em um sistema ortogonal.

Isto quer dizer que, de forma mais rigorosa, as projeções cartográficas que têm a propriedade de conformidade proporcionam a manutenção dos ângulos (Vieira et al., 2004).

Pela classificação segundo à superfície de contato, o sistema UTM é secante, ou seja, têm-se dois meridianos que tocam a superfície do cilindro e onde o coeficiente de deformação linear é unitário ($K=1$), traduzindo em não deformação das distâncias nestas linhas.



Figura 1 – Cilindro Secante ao globo Terrestre.

Fonte: IBGE.

A projeção UTM permite abranger uma área extensa em um sistema ortogonal com significativo controle de distorções.

Sendo assim, segundo Silveira (2014), O sistema de coordenadas planas UTM, não é indicado para execução de projetos de engenharia. A obra é desenvolvida no plano topográfico local, onde a distância calculada pelas coordenadas planas UTM é uma distância projetada no cilindro planificado.

Porém, na necessidade de se trabalhar com coordenadas plano retangulares UTM, pode-se fazer uso das coordenadas pseudoUTM.

Denomina-se coordenadas pseudoUTM as coordenadas planas similares ao sistema UTM calculadas no plano topográfico local, a partir de um ponto de coordenadas planas UTM reais, utilizadas como base (Silveira, 2014).

Para se efetuar o transporte de coordenadas UTM, a partir das suas equivalentes pseudoUTM, é necessário calcular o coeficiente de deformação linear levando em consideração a altitude média local (K_r) e a convergência meridiana (C). Adicionando-se os fatores de correção nas coordenadas pseudoUTM, as mesmas podem ser transformadas novamente em UTM reais.

As equações para o transporte de coordenadas UTM a partir das pseudoUTM, são:

$$K_r = \frac{K_o}{\sqrt{1 - [\cos \phi_m \cdot \sin(\lambda_m - \lambda_{MC})]^2}} \cdot \left(\frac{R_m}{R_m + H_m} \right) \quad (19)$$

$$C = XII \cdot P + XIII \cdot P^3 + C'_5 \cdot P^5 \quad (20)$$

$$P = 0,0001 \cdot \Delta\lambda'' \Rightarrow \Delta\lambda = \lambda_{MC} - \lambda \quad (21)$$

$$XII = \sin(\phi_m) \cdot 10^4 \quad (22)$$

$$XIII = \frac{\sin^2 1'' \cdot \sin(\phi_m) \cdot \cos^2(\phi_m)}{3} \cdot (1 + 3 \cdot e'^2 \cdot \cos^2(\phi_m) + 2 \cdot e'^4 \cdot \cos^4(\phi_m) \cdot 10^{12}) \quad (23)$$

$$C'_5 = \frac{\sin^4 1'' \cdot \sin(\phi_m) \cdot \cos^4(\phi_m)}{15} \cdot (2 - \tan^2(\phi_m)) \cdot 10^{20} \quad (24)$$

$$e' = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{b} \quad (25)$$

$$D_{\text{Topo}} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (26)$$

$$Az'_{\text{Topo}} = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{D_{\text{Topo}}} \quad (27)$$

$$Az_{\text{UTM}} = Az_{\text{Topo}} - C \quad (28)$$

$$D_{\text{UTM}} = D_{\text{Topo}} \cdot K_r \quad (29)$$

$$E = \sin(Az_{\text{UTM}}) \cdot D_{\text{UTM}} + E_{n-1} \quad (30)$$

$$N = \cos(Az_{\text{UTM}}) \cdot D_{\text{UTM}} + N_{n-1} \quad (31)$$

3 METODOLOGIA

O levantamento de campo para a obtenção dos dados foi realizado na área situada na Universidade Federal do Pampa UNIPAMPA, Campus de Itaqui. A área escolhida tem relevo suavemente ondulado, com

cobertura vegetal rasteira, característica que permite a recepção dos sinais do sistema GNSS sem maiores preocupações com obstáculos que possam degradar os valores do posicionamento (multicaminhamento por exemplo).

O método de posicionamento empregado foi o relativo estático, empregando-se quatro receptores em seções de quatro horas sobre os vértices geodésicos denominados ADM, RU, ACD e LABSIM, sendo o ADM a origem do plano topográfico local (PTL). Para efetuar o processamento dos dados foi utilizado o software GNSS Solutions, e, como vértices de referência do sistema geodésico brasileiro, as estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do GNSS (RBMC) de Cerro Largo (SAT94053), Santa Maria (SAT92013) e Alegrete (SAT94048).

Uma vez determinadas as coordenadas do vértice principal (o ponto denominado ADM) foi efetuado o rastreamento de quatro vértices sobre uma área delimitada fisicamente no campus da Unipampa, denominados P1, P2, P3 e P4 utilizando um receptor GNSS no método estático rápido, com tempo de ocupação de aproximadamente 20 minutos. A figura 4 ilustra os pontos coletados com o receptor GNSS.

Após o rastreamento, foi utilizada uma estação total em um vértice de coordenadas pseudoUTM conhecida e efetuadas as visadas à vante (em forma de irradiação) em todos os quatro vértices, para desta forma obter as coordenadas topográficas destes quatro pontos, criando desta forma um PTL com origem sobre o vértice ADM, e, conseqüentemente, efetuando o transporte de coordenadas pseudoUTM. O intuito deste levantamento também é o de verificar se as coordenadas pseudoUTM podem ser utilizadas de forma a simplificar o processo de transporte de coordenadas UTM, sem a necessidade da transformação de coordenadas PTL para UTM, apenas aplicando sobre as coordenadas pseudoUTM o fator de escala e a convergência meridiana, resultando diretamente nas verdadeiras coordenadas UTM.

Também foi executada uma poligonal topográfica controlada (enquadrada) entre os vértices geodésicos, para que se pudesse ter o controle qualitativo dos dados coletados.

Após o levantamento topográfico, foi criado o PTL (equação 1 até a 18) utilizando coordenadas pseudoUTM a partir das coordenadas geodésicas dos vértices ADM, RU, ACD e LABSIM, sendo o ADM a origem sistema. Foi também efetuado o transporte de coordenadas UTM a partir de suas homólogas pseudoUTM, (utilizando-se as equações 19 até a 33), para calcular seus valores para os quatro vértices que definem o limite da área fisicamente delimitada da Universidade Federal do Pampa no campus de Itaqui - RS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos foram satisfatórios, no que concerne à importância do uso de coordenadas planas locais para obras de engenharia e demonstra as vantagens de seu uso a partir da precisão alcançada quanto às coordenadas dentro do plano topográfico local, simplificando o processo de transporte de coordenadas UTM, que é um dos grandes problemas para a integração entre a cartografia e projetos de engenharia atualmente.

No quadro 1 são mostradas as coordenadas geodésicas elipsoidais obtidas a partir do rastreamento GNSS. O quadro 2 mostra as coordenadas UTM transformadas a partir das coordenadas geodésicas elipsoidais para o fuso UTM nº 21 (MC = 57° W).

Quadro 1. Coordenadas Geodésicas dos vértices utilizados no transporte de coordenadas UTM.

| VÉRTICES | COORDENADAS GEODÉSICAS | |
|----------|------------------------|------------------------|
| | Latitude(ϕ) | Longitude(λ) |
| ADM | 29° 09' 22,0266"S | 56° 32' 59,9600"W |
| AC2 | 29° 09' 20,2561"S | 56° 33' 05,5495"W |
| LABSIM | 29° 09' 21,3287"S | 56° 33' 09,1051"W |
| RU | 29° 09' 20,1004"S | 56° 33' 00,6662"W |
| P1 | 29° 09' 22,6908"S | 56° 32' 58,6865"W |
| P2 | 29° 09' 23,0018"S | 56° 33' 12,9102"W |
| P3 | 29° 09' 20,3676"S | 56° 33' 12,4430"W |
| P4 | 29° 09' 19,6665"S | 56° 32' 59,1554"W |

Quadro 2. Coordenadas UTM dos vértices.

| VÉRTICES | COORDENADAS UTM | |
|----------|-----------------|-------------|
| | N (m) | E (m) |
| ADM | 6.774.633,856 | 543.765,266 |
| AC2 | 6.774.688,923 | 543.614,437 |
| LABSIM | 6.774.656,278 | 543.518,291 |
| RU | 6.774.693,211 | 543.746,414 |
| P1 | 6.774.613,283 | 543.799,591 |
| P2 | 6.774.605,176 | 543.415,299 |
| P3 | 6.774.686,200 | 543.428,229 |
| P4 | 6.774.706,408 | 543.787,280 |

Quadro 3. Coordenadas pseudoUTM dos vértices.

| VÉRTICES | COORDENADAS pseudoUTM | |
|----------|-----------------------|-------------|
| | Y (m) | X (m) |
| ADM | 6.774.633,856 | 543.765,266 |

| | COORDENADAS pseudoUTM | |
|--------|------------------------------|-------------|
| AC2 | 6.774.688,966 | 543.614,429 |
| LABSIM | 6.774.656,281 | 543.518,298 |
| RU | 6.774.693,161 | 543.746,407 |
| P1 | 6.774.613,373 | 543.799,386 |
| P2 | 6.774.605,325 | 543.415,421 |
| P3 | 6.774.685,929 | 543.428,603 |
| P4 | 6.774.706,520 | 543.787,514 |

O quadro 3 mostra as coordenadas pseudoUTM transportadas.

Transformando-as em UTM com a aplicação dos fatores de correção de escala e convergência meridiana, têm-se as coordenadas mostradas no quadro 4.

Quadro4. Coordenadas pseudoUTM transportadas sobre o PTL e transformadas em UTM.

| | COORDENADAS UTM | |
|----------|------------------------|-------------|
| VÉRTICES | N (m) | E (m) |
| P1 | 6.774.613,281 | 543.799,594 |
| P2 | 6.774.605,178 | 543.415,303 |
| P3 | 6.774.686,195 | 543.428,226 |
| P4 | 6.774.706,407 | 543.787,283 |

5 CONCLUSÃO

O uso de coordenadas que não necessitem de correções das influências da curvatura terrestre em uma fração limitada de sua superfície é importante na maioria das obras de engenharia, sendo assim, com o uso deste método e sabendo que as coordenadas pseudoUTM não são UTM, pode-se facilmente efetuar as transformações entre sistemas aplicando-se os fatores de correção, salientando que essa prática é aplicada somente para métodos clássicos de levantamento (topografia).

Os resultados se mostraram satisfatórios, pois a maior diferença de posicionamento foi de 5,8 mm, demonstrando que o método pseudoUTM é uma maneira viável de contornar o problema de deformações do sistema de coordenadas planas UTM, levando-se em conta que o transporte de coordenadas UTM é uma atividade complexa que requer certo conhecimento sobre os sistemas de projeções cartográficas e suas implicações quanto às deformações.

A partir das coordenadas pseudoUTM criadas na área de estudo, foi possível eliminar as distorções

reais da projeção UTM para uma pequena área, obtendo-se também as coordenadas UTM reais obtidas a partir da aplicação do coeficiente de deformação linear.

Um dos motivos pelos quais os profissionais cometem erros ao efetuar o transporte de coordenadas planas UTM, é justamente o fato de ignorarem as correções das distorções, logo, este trabalho possibilitará que estudantes e profissionais da área de geomática, realizem missões de campo utilizando coordenadas pseudoUTM, sem maiores preocupações com correções, evitando-se comprometer a implantação de projetos de obras de engenharia. Para futuras pesquisas sobre o tema, pode ser analisado a efetividade da criação de um Plano Topográfico Local com coordenadas pseudoGauss-Krüger substituindo o Plano Topográfico Local convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, 1998. Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento. NBR14166, Rio de Janeiro, Brasil 23 páginas.

Andrade, J. B., 1998. Fotogrametria. SBEE, Curitiba, Brasil, 258p.

Dal'forno, G. L.; A. J. Aguirre; F. L. Hillebrand e F. V. Gregório, 2010. Transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas no plano topográfico local pelos métodos da norma NBR 14166: 1998 e o de rotações e translações, em Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife – PE, Brasil, pp. 001-007.

IBGE, 1998. Noções Básicas de Cartografia, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Brasil, 127 páginas.

IGN, 2017. Sistema de Proyecciones Cartográficas, Instituto Geográfico Nacional, Disponível em: <<http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/ProduccionCartografica/Introduccion>>. Acesso em 16 ago. 2017.

Silva, D. C e L. N. S. Frederico, 2014. Cálculo de fator de escala UTM para medições com estações totais, em Anais V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, Brasil, pp. 455-462.

Silveira, L. C., 2014. Uso de coordenadas pseudo utm em locação de obras (UHEs E PCHs). A Mira, Vol. CLXX, Criciúma – SC, Brasil, pp 36 -39.

Torge, W., 2001. Geodesy, Walter de Gruyter, New York, USA, 526 páginas.

Vieira, A. J. B.; C. R. Sluter; H. Firkowski e L. S. Delazari, 2004. Cartografia, UFPR, Curitiba, Brasil 121páginas.