

Análise de fechamento de poligonais implantadas num Cadastro Técnico Urbano através da integração de topografia convencional e GPS

Rafael Vieira de Morais¹

¹UFSC – CTC – PPGE
Mestrando em Cadastro Técnico Multifinalitário
rvmorais@yahoo.com.br

Resumo: O presente artigo é resultado de parte do trabalho de dissertação de mestrado do autor sobre a integração de topografia convencional e tecnologia GPS na implantação de poligonais num Cadastro Técnico Urbano segundo análise do erro de fechamento conforme prescrição da NBR13133. Como metodologia e com a finalidade de estudar o comportamento das poligonais nas regiões críticas das projeções de Mercator, foram selecionados dados em três regiões distintas do fuso UTM, no meridiano central, no meridiano de secância e no meridiano extremo. Apresentam-se os testes efetuados, os resultados encontrados em cada caso e as análises pertinentes.

Palavras chaves: Transporte de coordenadas, Fechamento de poligonais e Sistema TM.

Abstract: The present article is resulted of part of the work of dissertation of the author's master's degree about the integration of conventional topography and technology GPS in the implantation of topographical traverses in an Urban Cadastre according analysis of the closing mistake according prescriptions of NBR13133. As methodology and with the purpose of studying the behavior of the traverses in the critical areas of the projection of Mercator, were chosen located data in three areas different in the UTM fuse, to the central meridian, to the secancy meridian and to the extreme meridian. The made tests are presented, the results found in each case and the pertinent analyses.

Keywords: Transport of coordinates, Closure of traverses and TM System.

1 Introdução

A integração de tecnologias tem sido primordial para a agilidade, qualidade e redução de custos na implantação de um Cadastro Técnico Urbano (CTU), assim está se tornando cada vez mais usual a integração da tecnologia GPS e da topografia convencional na obtenção da Rede de Levantamento da qual são mapeados os elementos básicos de interesse que compõe a carta cadastral municipal.

No entanto esta combinação de tecnologias requer cuidados no que tange à compatibilização dos sistemas de referência e projeção dos equipamentos e materiais utilizados para a confecção da carta cadastral.

Neste contexto, o presente trabalho visa como objetivo principal avaliar o fechamento de poligonais implantadas num Cadastro Técnico Urbano, através da integração de dados obtidos via GPS para apoio de campo e dados advindos de poligonização topográfica, nas projeções de Mercator (UTM, RTM e LTM) analisando as prescrições requeridas na NBR 13.133. Propõe-se analisar os erros de fechamento de poligonais empregando dois métodos para o transporte de coordenadas, sendo o primeiro denominado procedimento padrão considerando as reduções e transformações necessárias para a compatibilização dos dados da topografia e do GPS, e o segundo denominado método prático, onde se considera que os dados têm a mesma superfície de referência. Como metodologia, com a finalidade de estudar o comportamento das poligonais nas regiões críticas da projeção de Mercator, foram escolhidos dados localizados em três regiões distintas do fuso UTM, no município de Curitiba/SC próximo ao meridiano central, no município de Santa Terezinha de Itaipu/PR próximo ao meridiano extremo e no município de Paracatu/MG próximo ao meridiano de secância do fuso.

2 Carta cadastral e superfícies de referência

A base cartográfica de um CTU é caracterizada pela carta cadastral municipal que segundo Romão et al. (1996) é a carta planimétrica, em escala 1:1.000 ou maior, cujos elementos básicos são constituídos pelos pontos limites de propriedades e pontos de contorno de edificações, devidamente identificados e levantados em campo.

Para a confecção da carta cadastral é premissa básica que esta tenha sido mapeada segundo uma estrutura geodésica de referência; neste sentido Blachut et al. (1979), comentam que em levantamentos cadastrais, só são aceitáveis os levantamentos baseados em uma rede de referência permanentemente monumentada, caso contrário, o sistema é técnica e economicamente inadequado.

Consultando-se a norma técnica NBR 14.166 (1998) verifica-se que a estrutura geodésica de referência é caracterizada pela Rede de Referência Cadastral Municipal e definida como a rede de apoio básico de âmbito municipal para todos os serviços que se destinam a projetos, cadastros ou implantações e gerenciamento de obras, sendo constituída por pontos de coordenadas planimétricas, materializadas no terreno, referenciados a uma única origem (Sistema Geodésico Brasileiro – SGB) e a um único sistema de representação cartográfica, permitindo a amarração e conseqüente incorporação de todos os trabalhos de topografia e cartografia na construção e manutenção da Planta Cadastral Municipal e Planta Geral do Município, sendo esta rede amarrada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), ficando garantida a posição dos pontos de representação e a correlação entre os vários sistemas de projeção ou representação.

Neste contexto Philips (1996) cita uma ordem hierárquica que propõe uma ordenação aos diversos seguimentos que compõem a Rede de Referência Cadastral Municipal, conforme pode ser visualizado na tabela a seguir:

Tabela 01 – Hierarquia das redes – adaptada de Philips (1996)

ORDEM	NOME DA REDE
1ª	Rede Nacional de Referência
2ª	Rede Estadual de Referência
3ª	Rede de Referência Cadastral Municipal

A Rede de Levantamento é portanto constituída pelos Pontos de Levantamento que são o produto final do processo de densificação dos pontos sendo geralmente estabelecida pelo método de poligonização. Dos Pontos de Levantamento são mapeados os elementos básicos e as informações territoriais necessárias que compõe a carta cadastral.

Assim, temos que a RRCM deve ser referenciada ao SGB, por conseguinte ela também deve ser concebida sob apenas uma superfície de referência, portanto faz-se necessário que quando da elaboração de um CTU se deseja integrar diversas tecnologias, estes dados sejam obtidos ou transformados a uma única superfície de referência.

Gemael (1987) descreve que existem três superfícies a serem consideradas em operações geodésicas: A superfície física, o geóide e o elipsóide. O geóide é caracterizado pelo nível médio dos mares e possui forma irregular entre outros fatores devido às deficiências e excessos de massa em algumas de suas regiões, estas irregularidades trazem sérias dificuldades na execução dos cálculos geodésicos e por isso uma superfície de tratamento matemático mais simplificado é tomada como modelo para desenvolvimento dos trabalhos geodésicos. Esta superfície é o elipsóide de revolução, e é caracterizado pela rotação de uma elipse em torno do seu eixo menor. O elipsóide é caracterizado pelas coordenadas geodésicas ou elipsoidais, a saber: ϕ (latitude), λ (longitude) e h (altitude geodésica).

Já as operações topográficas, conduzidas sobre a superfície física da Terra, têm como referência nos cálculos topográficos, um plano horizontal de referência ou plano topográfico e é definido por um sistema de coordenadas plano-retangulares compostas pelo terno cartesiano: X (abscissa), Y (ordenada) e Z (cota ou altitude), sendo que o eixo Z coincide com a vertical do ponto de origem.

As relações para que os dados (grandezas geométricas) entre as superfícies elipsoidal e topográfica sejam utilizados de forma correta são tais que a distância horizontal deve ser reduzida ao elipsóide e o ângulo horizontal observado na superfície topográfica deve ser transformado em ângulo elipsóidico. No entanto, segundo Gripp e Silva (1994) as correções referentes ao ângulo horizontal (correção em função do desvio da vertical, e em função da altitude), podem ser desprezadas devido às curtas distâncias usuais em engenharia e ao valor moderado das altitudes brasileiras.

A relação matemática entre a distância horizontal e a distância elipsoidal utilizada neste trabalho foi descrita por Asin (1990) que propõem que a distância horizontal deve ser transformada em distância elipsoidal em dois tempos. Primeiro realiza-se a redução da distância horizontal ao nível médio do mar, depois se reduz a mesma ao elipsóide.

(OBS.: Tamanho da figura: Altura 6,67 cm; Largura 11,92 / Dimensões: Altura 65% ; Largura 57%)

Morais f1.wmf – Superfícies de referência – Elipsóide e Plano topográfico

Assim, da figura (01) temos que:

$$\frac{DH}{R + hm} = \frac{D}{R} \Rightarrow D = \frac{DH \cdot R}{R + hm} \quad (01)$$

Onde:

DH = Distância horizontal medida em campo;

hm = Altitude média entre os pontos A e B, sendo que esta grandeza deve estar referenciada ao geóide; entretanto, por não se conhecer o geóide, simplificada adota-se o elipsóide.

R = Raio de curvatura médio dado pelo teorema de Euler:

$$R = \frac{M \cdot N}{M \cdot \sin^2(Az_{ab}) + N \cdot \cos^2(Az_{ab})} \quad (02)$$

Depois de reduzida a distância ao nível do mar, ou seja, de posse da corda D , a redução ao arco do elipsóide é conhecida através da expressão:

$$S = D + \frac{D^3}{24R^2} \quad (03)$$

Onde:

S = Distância elipsoidal (arco);

R = Raio médio local.

No entanto, segundo Sherrer (1985) esta correção pode ser desprezada para distâncias curtas, por apresentar valor inexpressivo, devendo ser considerado em distâncias maiores que 10 km, conforme pode ser visualizado na Figura 02.

(OBS.: Copiar o gráfico. Tamanho da figura: Altura 6,63 cm; Largura 11,92 / Dimensões: Altura 100% ; Largura 100%)

Morais f2.xls – Correção referente ao elipsóide

3 Projeções Cartográficas para a Carta Cadastral

Como foi descrito anteriormente a carta cadastral municipal é geralmente confeccionada em grande escala (1:1.000 a 1:10.000), assim a adoção de uma projeção para a representação desta carta deve levar em consideração as distorções que esta irá apresentar. Robinson & Sale (1995) cita que estas deformações afetam principalmente os ângulos, áreas, distâncias e direções. Portanto, qualquer que seja a projeção adotada, esta será provida de distorções, devendo-se então optar por aquela que atenda com mais propriedade a finalidade a que se destina. Para Rocha (1998) diversos aspectos

devem ser considerados na adoção da projeção cartográfica como: Localização – pólos, equador; forma – larga, estreita; dimensão – Grande, pequena; O fim que se destina – propriedade, precisão.

Neste sentido Blachut et al. (1979) ressalta que um sistema de projeção para aplicações em áreas urbanas deverá possuir como características gerais: as correspondências biunívocas entre as superfícies (elipsóide e plano) conforme, deverá ser expressa em termos de fórmulas matemáticas que permitam cálculos numéricos com uma precisão pré-determinada; as distorções de ângulos e distâncias deverão ser minimizadas e de fácil cálculo; deve ser usado como superfície de referência um elipsóide e não uma esfera.

Ainda neste escopo, Philips (1997) retrata que uma projeção cartográfica para a rede de referência do cadastro imobiliário deve ter as seguintes características: a deformação projetiva deve ser mínima, de poucos centímetros para um quilômetro de distância ou no máximo 200m² para um quilômetro quadrado; para medições locais (medições de poligonais, levantamento de lotes, glebas, locações de projetos de engenharia, projetos aerofotogramétricos, etc...) o sistema de coordenadas deve ser uma referência plana sem a necessidade de calcular correções nem para distâncias e nem para áreas; o cálculo numérico da coordenada deve ser fácil, em tempo real, sem uso de tabelas, mesmo se o número de pontos a transformar for grande.

E concomitante a toda esta explanação a NBR 14.166 revela que os elementos da rede de referência cadastral, da estrutura geodésica de referência, podem ter suas coordenadas plano-retangulares determinadas pelo sistema transversal de Mercator (UTM, RTM e LTM), e pelo Sistema Topográfico Local.

3.1 Sistema de Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator)

Conforme Dalazoana e Freitas (2001) o Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) é uma modificação da Projeção Transversa de Mercator, e surgiu na década de 40 devido à necessidade de um sistema de projeção global para o apoio aos trabalhos geodésicos visando atender aos interesses militares. Loch e Cordini (2000) retratam que o termo universal é devido ao fato de que o sistema UTM poder ser utilizado para qualquer região da Terra, exceto às calotas polares. Smith *apud* Dalazoana & Freitas (2001) retrata que o sistema foi concebido com a finalidade de minimizar as distorções em azimute e de manter as distorções em escala dentro de certos limites.

A seguir serão apresentadas as especificações e características do sistema UTM (Brasil, 1975; Oliveira, 1993):

1. Adota a projeção conforme (Mercator) transversa de Gauss, a qual a superfície de projeção utilizada é o cilindro que se encontra secante ao elipsóide;
2. Estabelece a Terra dividida em 60 fusos de seis graus de longitude e a origem localizada no antimeridiano de Greenwich;
3. sistema é limitado pelos paralelos de 80°S e 84°N;
4. Meridiano Central e o Equador são representados por linhas retas, os demais paralelos e meridianos são linhas curvas;
5. coeficiente de deformação linear no meridiano central (K_0) é 0,9996, gerando uma distorção linear de 1/2.500;
6. A origem do sistema se encontra no cruzamento do equador com o meridiano central do fuso;
7. As abscissas são representadas pela letra E (Este) e as ordenadas são representadas pela letra N (Norte);
8. As coordenadas de origem para o hemisfério sul são 500.000m na direção leste (abscissas) e 10.000.000m na direção norte (ordenadas). As abscissas têm sentido crescente na direção leste e as ordenadas têm sentido decrescente na direção sul;

Em consequência da deformação linear ocorrida devido ao cilindro estar secante ao elipsóide, o sistema não possui escala única, apresentando reduções e ampliações. As reduções máximas ocorrem no meridiano central e as ampliações máximas nos extremos do fuso.

3.2 Sistema de Projeção RTM (Regional Transversa de Mercator)

Carvalho (1984) apresenta o sistema RTM numa variação da LTM para aplicações mais regionais, evitando fusos muito reduzidos e regiões de duplicidades de fusos. As especificações e características deste sistema são relacionadas a seguir (Carvalho, 1984):

1. Assim como o sistema UTM adota a superfície de projeção cilíndrica, transversa, conforme e secante;
2. Apresenta fusos de dois graus de longitude;
3. O coeficiente de deformação linear no meridiano central (K_0) é 0,999995, gerando uma distorção linear de 1/200.000;
4. As coordenadas de origem para o hemisfério sul são 400.000m na direção leste (abscissas) e 5.000.000m na direção norte (ordenadas). As abscissas têm sentido crescente na direção leste e as ordenadas têm sentido decrescente na direção sul.

3.3 Sistema de Projeção LTM (Local Transversa de Mercator)

Segundo Gripp e Silva (1994) o sistema LTM foi programado a fim de aumentar a fidelidade de representação das medidas até um limite compatível com a precisão de locação, necessárias em trabalhos de engenharia. Rocha (1998) cita que este sistema tem sido utilizado pelo Instituto de Cartografia Aeronáutica para mapeamentos de aeroportos em escala 1/2.000.

O sistema apresenta as seguintes especificações (Rocha, 1998):

1. Assim como o sistema UTM adota a superfície de projeção cilíndrica, transversa, conforme e secante;
2. Apresenta fusos de um grau de longitude com meridianos centrais nas longitudes de 30 minutos;
3. Semelhante ao sistema RTM, apresenta o coeficiente de deformação linear no meridiano central (K_0) igual a 0,999995, gerando uma distorção linear de 1/200.000;
4. Tem como coordenadas de origem para o hemisfério sul, 200.000m na direção leste (abscissas) e 5.000.000m na direção norte (ordenadas). As abscissas têm sentido crescente na direção leste e as ordenadas têm sentido decrescente na direção sul.

4 Metodologia

As áreas de estudo escolhidas para o desenvolvimento do presente trabalho foram: No município de Curitiba em Santa Catarina, localizado próximo ao meridiano central do fuso, tendo como referência geográfica as coordenadas: latitude 27°16'58" Sul e longitude 50°35'04" Oeste com altitude média de 987m acima do nível do mar; No município de Santa Terezinha de Itaipu no Paraná, localizado próximo ao meridiano extremo do fuso, tendo como referência geográfica as coordenadas: latitude 25°25'00" Sul e longitude 54°25'00" Oeste com altitude média de 218 metros acima do nível do mar; No município de Paracatu em Minas Gerais, localizado próximo ao meridiano de secância do fuso, tendo como referência geográfica as coordenadas: latitude 17°13'01" Sul e longitude 46°52'17" Oeste com altitude média de 688 metros acima do nível do mar.

A metodologia adotada na execução do trabalho baseou-se na implantação de pontos de apoio de campo através da tecnologia GPS, para a partir deles gerar a Rede de Levantamento estabelecida pelo método da poligonização através de topografia convencional (estação total). As poligonais criadas foram do tipo 2 e 3 segundo a NBR 13.133. A partir dos dados obtidos pelo GPS e pela poligonização foram iniciadas as diversas análises e comparações que serão demonstradas no capítulo resultados.

4.1 Primeira Etapa: Planejamento, Implantação e Rastreamento

O planejamento para a implantação dos marcos foi realizado observando alguns cuidados como: Os marcos foram implantados em pares e de tal forma que permitiram a intervisibilidade total entre eles; Atentou-se para que a distribuição dos marcos fosse homogênea em relação ao perímetro urbano do município de forma que se tivesse um par de marcos para cada 3 km².

Assim, nesta etapa foram implantados no município de Curitiba 07 pares de marcos, no município de Santa Terezinha de Itaipu 03 pares de marcos e no município de Paracatu 13 pares de marcos.

O rastreamento foi executado adotando o posicionamento geodésico por equipamento GPS, utilizando-se do método relativo estático, onde o tempo de observação foi em média de 1h05min por ponto. Para maior confiabilidade na determinação das coordenadas dos marcos, cuidou-se para que o receptor base fosse instalado em marcos implantados por órgãos públicos onde foi realizada uma prévia consulta no IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) com a finalidade de definir estes marcos. Assim, no município de Curitiba a base utilizada foi o marco geodésico de referência do IBGE localizado em Campos Novos/SC com a denominação IBGE_SAT91863, em Santa Terezinha de Itaipu utilizou-se como base o marco geodésico de referência também do IBGE localizado em Foz do Iguaçu/PR denominado IBGE_SAT91880, quanto ao município de Paracatu/MG, visto que todos os marcos do IBGE que poderiam ser utilizados não foram encontrados ou se encontravam em estado de depreciação, o marco geodésico base utilizado foi o da CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) com a denominação CEMIG 17021.

4.2 Segunda Etapa: Levantamento das poligonais

Depois da coleta dos dados com o equipamento GPS Geodésico, ou seja, concluído o apoio terrestre partiu-se para o levantamento das poligonais. Várias poligonais foram criadas a fim de estabelecer a Rede de Levantamento, que servirá de base para os diversos trabalhos que por ventura a prefeitura vier a realizar como parcelamentos, arruamentos, projetos de engenharia,... No entanto para a análise do referido trabalho foram utilizadas somente uma poligonal em cada município. Estas poligonais foram levantadas utilizando-se estação total.

As poligonais implantadas seguiram as normas da NBR 13.133 e se enquadraram em três classes distintas, a saber:

Classe I PRC – “Apoio topográfico da rede de referência cadastral municipal, apoiada na rede geodésica densificada por poligonal classe IP ou processo equivalente”.

Classe II PRC – “Poligonais auxiliares da rede de referência cadastral municipal destinada à determinação dos pontos referenciadores de quadras ou de glebas”.

Classe II P – “Apoio topográfico para projetos básicos, executivos, como executado, e obras de engenharia”.

Tabela 02 – Características das Poligonais

Classe	Metodologia		Desenvolvimento				Materialização
	Angular	Linear	Extensão Máxima	Lado Mínimo	Lado Médio	Número Máx. de Vértices	
I PRC	Método das direções com centragem forçada, três séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical.	Leituras recíprocas (vante e ré)	03 Km	100 m	≥ 200 m	16	Pinos de aço
II PRC	Método das direções: duas séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical.	Leituras recíprocas (vante e ré)	650 m	40 m	≥ 80 m	9	Pinos de aço
II P	Método das direções: Três séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical.	Leituras recíprocas (vante e ré). Correção de temperatura e pressão	15 Km	100 m	≥ 190 m	31	Pinos de aço

Além da classificação apresentada acima as poligonais foram também caracterizadas por tipo, sendo dispostas em apenas um dos três tipos discriminados pela norma:

Poligonal Tipo 2 – “Apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo”.

O estabelecimento das tolerâncias para os erros de fechamento das poligonais também seguiu conforme preconiza a norma.

– Tolerância de fechamento angular:

$$T_{\alpha} \leq a + b\sqrt{N} \quad , \text{ onde } N \text{ é o número de vértices da poligonal, incluindo os de partida e de chegada.}$$

– Tolerância de fechamento linear, após a compensação angular:

$$T_p \leq c + d\sqrt{L(Km)}$$

– Erro relativo, máximo aceitável, de fechamento linear, após compensação angular:

$$e_r \leq \frac{T_p}{L}$$

Neste trabalho os levantamentos foram executados segundo o método das direções com visadas na posição direta e inversa e com leitura simples com apenas uma determinação de ângulo em apenas uma posição do limbo, apesar da NBR 13.133 prescrever que os ângulos devem ser lidos em séries de leituras conjugadas, já que as Estações Totais compensam os erros de eixo, excentricidade e graduação e os seus ângulos já serem uma média de leituras. O comprimento dos lados da poligonal foi medido através de leituras recíprocas de vante e ré, onde foram executadas três leituras de distâncias e adotada a média destas para realizar os cálculos das coordenadas dos pontos, na projeção TM (UTM, RTM e LTM).

4.3 Terceira Etapa: Determinação das coordenadas dos vértices das poligonais

Esta etapa será descrita em duas partes separadamente caracterizando as metodologias analisadas no trabalho.

4.3.1 Metodologia para obtenção das coordenadas de uma rede de levantamento no sistema TM aplicando o método padrão

O primeiro procedimento realizado nesta etapa foi a transformação das coordenadas dos pontos de referência de partida e de chegada, que se encontravam em Latitude e Longitude, para coordenadas TM (UTM, RTM e LTM).

Na seqüência, realizou-se a redução das distâncias horizontais ao nível do mar utilizando a fórmula (01). Depois foram realizados os transportes de coordenadas, os quais obedeceram as seguintes seqüências de cálculo conforme pode ser visto na figura abaixo (seja um ponto 3 a determinar a partir de um par de coordenadas conhecidas 1 e 2):

(OBS.: Tamanho da figura: Altura 8,85 cm; Largura 10,69 / Dimensões: Altura 95% ; Largura 96%)

Morais f3.wmf – Transporte de coordenadas no sistema TM

Passo 1 – De posse das coordenadas de partida (E_1, N_1) e (E_2, N_2) calculou-se o azimute plano TM de 1 para 2 através da fórmula:

$$Az_{1-2} = ATAN\left(\frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1}\right) \quad (04)$$

Passo 2 – Cálculo da redução angular do ponto 2 para o ponto 1 através da fórmula:

$$\Psi_{2-1} = 6,8755 \cdot 10^{-8} \Delta N_{12} (E_1^4 + 2E_2^4) XVIII \quad (05)$$

Passo 3 – Cálculo da redução angular do ponto 2 para o ponto 3:

Este valor não pode ser determinado diretamente visto que ele depende das coordenadas do ponto 3 que queremos determinar, assim deve ser realizado o seguinte procedimento: Calcula-se as coordenadas provisórias do ponto 3 considerando apenas a redução angular do ponto 1 para o ponto 2 e em seguida calcula-se a latitude média entre os pontos 2 e 3 e finalmente calcula-se a redução angular do ponto 2 para o ponto 3 através da fórmula (05).

Passo 4 – Cálculo do azimute plano TM definitivo do ponto 2 para o ponto 3 dado por:

$$Az_{2-3} = Az_{1-2} + \alpha + \Psi_{12} - \Psi_{23} \quad (06)$$

Passo 5 – Cálculo da distância plana TM entre os ponto 2 e 3 pelas fórmulas:

$$D_{LTM} = S \cdot m \quad (07)$$

m = Fator de escala médio, dado por:

$$m = K_0 (1 + qXVIII) \quad (08)$$

Passo 6 – Cálculo das coordenadas definitivas do ponto 3 pelas fórmulas:

$$N_3 = N_2 + D_{LTM} \cdot \cos(Az_{2-3}) \quad (09)$$

$$E_3 = E_2 + D_{LTM} \cdot \sin(Az_{2-3}) \quad (10)$$

4.3.2 Metodologia para obtenção das coordenadas de uma Rede de Levantamento no sistema TM aplicando o método usualmente empregado na prática

Com as coordenadas dos pontos de referência de partida e de chegada no sistema TM, determinaram-se as coordenadas dos vértices das poligonais utilizando as fórmulas da topografia básica negligenciando todas as reduções e transformações necessárias para a realização do transporte de coordenadas. Desta feita as coordenadas de um ponto a determinar 3 foram calculadas a partir de um par de pontos de coordenadas conhecidas 1 e 2 através das fórmulas:

$$N_3 = N_2 + Dh \cdot \cos(Az_{2-3}) \quad (11)$$

$$E_3 = E_2 + Dh \cdot \sin(Az_{2-3}) \quad (12)$$

Dh = Distância horizontal coletada em campo

$$Az_{23} = Az_{12} + \alpha$$

Az_{12} = Azimute TM de partida obtido pela equação descrita em (06)

α = Ângulo horizontal coletado em campo.

Os cálculos e processamentos realizados nesta metodologia foram feitos utilizando o software Topograph, com o fim de se proceder o mais semelhante possível conforme empregado na prática.

Com o simples propósito de diferenciar a metodologia demonstrada neste item, da metodologia apresentada no item anterior, adotaremos o sinal * (asterisco) para nos reportar à coordenadas obtidas utilizando o método usualmente empregado na prática.

4.4 Quarta Etapa: Cálculo e distribuição dos erros de fechamento angular e linear das poligonais

Estes cálculos e procedimentos foram realizados em todas as poligonais utilizadas e apresentadas neste trabalho e comparadas com a precisão exigida na NBR 13.133. Estes procedimentos também seguiram prescrição da referida norma, onde se adotou como método de compensação, primeiramente uma distribuição dos erros angulares pelos vértices das poligonais e, em seguida realizou-se a distribuição dos erros lineares igualmente por todas as projeções dos lados (ΔE e ΔN).

4 Resultados e Discussões

4.1 Análise de Poligonal no município de Curitiba

No município de Curitiba a poligonal levantada em campo partiu dos vértices de referência CB6B e CB6A e chegou nos vértices CB5B e CB5A. A poligonal denominada Curitiba constou de 22 vértices e apresentou desenvolvimento curvo enquadrada na classe II P tipo 2.

Tabela 03 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal Curitiba no Sistema TM (UTM, RTM, LTM).

Estação	UTM N	UTM E	RTM N	RTM E	LTM N	LTM E
CB6B	6.980.212,4450	542.163,8870	1.979.019,1519	442.180,5485	1.979.088,9288	192.685,4834
CB6A	6.980.139,2940	542.202,0820	1.978.945,9718	442.218,7585	1.979.015,9037	192.723,9851
P1	6.980.145,1070	542.166,5305	1.978.951,7872	442.183,1930	1.979.021,5766	192.688,3974
P2	6.980.119,6309	542.194,0108	1.978.926,3009	442.210,6842	1.978.996,2011	192.715,9898
P3	6.979.920,2499	542.258,1606	1.978.726,8410	442.274,8592	1.978.797,0039	192.780,9614
P4	6.979.813,3814	542.314,1556	1.978.619,9301	442.330,8764	1.978.690,3204	192.837,4048
P5	6.979.724,6756	542.300,1917	1.978.531,1893	442.316,9069	1.978.601,5263	192.823,7909
P6	6.979.522,4299	542.200,1028	1.978.328,8639	442.216,7784	1.978.398,8061	192.724,4753
P7	6.979.304,0664	542.092,1046	1.978.110,4145	442.108,7374	1.978.179,9305	192.617,3121
P8	6.979.062,3104	541.972,6161	1.977.868,5633	441.989,2016	1.977.937,6077	192.498,7480
P9	6.978.899,9417	541.892,0669	1.977.706,1306	441.908,6205	1.977.774,8571	192.418,8196
P10	6.978.749,2064	541.833,3096	1.977.555,3359	441.849,8399	1.977.623,8314	192.360,6445
P11	6.978.563,6918	541.786,6563	1.977.369,7482	441.803,1680	1.977.438,0622	192.314,7172
P12	6.978.441,9955	541.762,2532	1.977.248,0038	441.778,7551	1.977.316,2235	192.290,7926
P13	6.978.197,0013	541.789,9863	1.977.002,9127	441.806,4990	1.977.071,2506	192.319,5171
P14	6.978.258,9795	542.022,3612	1.977.064,9148	442.038,9664	1.977.134,1819	192.551,7296
P15	6.978.291,2525	542.094,5975	1.977.097,2004	442.111,2316	1.977.166,7559	192.623,8633
P16	6.978.128,8325	542.130,4279	1.976.934,7160	442.147,0759	1.977.004,4199	192.660,3573
P17	6.977.892,5666	542.205,4039	1.976.698,3566	442.222,0813	1.976.768,3678	192.736,3072
P18	6.977.862,7299	542.203,9696	1.976.668,5081	442.220,6464	1.976.738,5144	192.734,9919
P19	6.977.834,7070	542.235,3732	1.976.640,4740	442.252,0624	1.976.710,6070	192.766,5193
P20	6.977.866,1034	542.283,9109	1.976.671,8827	442.300,6196	1.976.742,2092	192.814,9492
CB5B	6.977.876,2320	542.321,5800	1.976.682,0152	442.338,3037	1.976.752,4924	192.852,5916
CB5A	6.977.849,0540	542.226,0090	1.976.654,8268	442.242,6949	1.976.724,9218	192.757,0946

Tabela 04 – Análise de fechamento da Poligonal Curitiba no Sistema UTM

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	66,7 seg.	70,7 seg.
Linear	-0,0705 -0,0740	-

Linear absoluto	0,1021	0,2343
Relativo	1:29.754	1:12.971

Tabela 05 – Análise de fechamento da Poligonal Curitiba nos no Sistema RTM

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	66,4 seg.	70,7 seg.
Linear	-0,0706 -0,0803	-
Linear absoluto	0,1069	0,2344
Relativo	1:28.443	1:12.974

Tabela 06 – Análise de fechamento da Poligonal Curitiba nos no Sistema LTM

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	67,1 seg.	70,7 seg.
Linear	-0,0709 -0,0800	-
Linear absoluto	0,1069	0,2344
Relativo	1:28.443	1:12.974

Localização no fuso do município de Curitiba nos projeções UTM, RTM e LTM.

(OBS.: Tamanho da figura: Altura 10,62 cm; Largura 11,54 / Dimensões: Altura 104% ; Largura 104%)

Morais f4.wmf – Localização do município de Curitiba nos projeções UTM, RTM e LTM

Tabela 07 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal Curitiba nos no Sistema TM* (UTM*, RTM*, LTM*)

Estação	UTM*		RTM*		LTM*	
	N	E	N	E	N	E
CB6B	6.980.212,4450	542.163,8870	1.979.019,1519	442.180,5485	1.979.088,9288	192.685,4834
CB6A	6.980.139,2940	542.202,0820	1.978.945,9718	442.218,7585	1.979.015,9037	192.723,9851
P1	6.980.145,1123	542.166,5113	1.978.951,7882	442.183,1893	1.979.021,5778	192.688,3928
P2	6.980.119,6344	542.194,0063	1.978.926,3012	442.210,6853	1.978.996,2015	192.715,9906
P3	6.979.920,2410	542.258,1858	1.978.726,8376	442.274,8670	1.978.797,0000	192.780,9701
P4	6.979.813,3649	542.314,2082	1.978.619,9240	442.330,8914	1.978.690,3134	192.837,4219
P5	6.979.724,6540	542.300,2335	1.978.531,1819	442.316,9172	1.978.601,5178	192.823,8029
P6	6.979.522,3969	542.200,0854	1.978.328,8541	442.216,7726	1.978.398,7946	192.724,4689
P7	6.979.304,0220	542.092,0229	1.978.110,4027	442.108,7140	1.978.179,9166	192.617,2854
P8	6.979.062,2537	541.972,4630	1.977.868,5498	441.989,1584	1.977.937,5916	192.498,6987
P9	6.978.899,8766	541.891,8661	1.977.706,1160	441.908,5643	1.977.774,8395	192.418,7555
P10	6.978.749,1333	541.833,0731	1.977.555,3199	441.849,7734	1.977.623,8121	192.360,5687
P11	6.978.563,6085	541.786,3902	1.977.369,7301	441.803,0918	1.977.438,0403	192.314,6305
P12	6.978.441,9055	541.761,9706	1.977.247,9844	441.778,6729	1.977.316,2002	192.290,6993
P13	6.978.196,8975	541.789,7115	1.977.002,8903	441.806,4143	1.977.071,2236	192.319,4220
P14	6.978.258,9337	542.022,2109	1.977.064,9041	442.038,9234	1.977.134,1693	192.551,6804
P15	6.978.291,2380	542.094,4859	1.977.097,1969	442.111,2015	1.977.166,7519	192.623,8285
P16	6.978.128,8089	542.130,3316	1.976.934,7106	442.147,0481	1.977.004,4135	192.660,3256
P17	6.977.892,5294	542.205,3422	1.976.698,3479	442.222,0610	1.976.768,3575	192.736,2847
P18	6.977.862,6910	542.203,9063	1.976.668,4990	442.220,6251	1.976.738,5036	192.734,9683
P19	6.977.834,6660	542.235,3266	1.976.640,4640	442.252,0466	1.976.710,5952	192.766,5018
P20	6.977.866,0937	542.283,8905	1.976.671,8806	442.300,6126	1.976.742,2067	192.814,9415
CB5B	6.977.876,2320	542.321,5800	1.976.682,0152	442.338,3037	1.976.752,4924	192.852,5916
CB5A	6.977.849,0540	542.226,0090	1.976.654,8268	442.242,6949	1.976.724,9218	192.757,0946

Tabela 08 – Análise de fechamento da Poligonal Curitiba nos no Sistema UTM*

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	66,6 seg	70,7 seg
Linear	-1,2837 -0,0330	-
Linear absoluto	1,2841	0,2344
Relativo	1:2.368	1:12.976

Tabela 09 – Análise de fechamento da Poligonal Curitiba nos no Sistema RTM*

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	66,4 seg.	70,7 seg
Linear	-0,3897 -0,0862	-
Linear absoluto	0,3991	0,2344
Relativo	1:7.621	1:12.976

Tabela 10 – Análise de fechamento da Poligonal Curitiba nos no Sistema LTM*

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	67,4 seg.	70,7 seg
Linear	-0,4377 -0,0834	-
Linear absoluto	0,4456	0,2344
Relativo	1:6.825	1:12.976

(OBS.: Copiar o gráfico. Tamanho da figura: Altura 8,93 cm; Largura 13,93 / Dimensões: Altura 100% ; Largura 107%)

Morais f5.xls – Diferenças entre as coordenadas da poligonal Curitiba calculada pela metodologia padrão e o método empregado na prática nas projeções UTM, RTM e LTM

Analisando o gráfico podemos perceber que as diferenças nas coordenadas em quaisquer das projeções são de valores consideráveis, o que explica o baixo valor encontrado pelo erro de fechamento linear relativo nas projeções TM* e o não atendimento às tolerâncias da NBR 13.133. Nota-se também que a projeção UTM* foi a que apresentou os maiores valores para esta diferença. Isto é explicado devido ao fato de que no sistema UTM a poligonal se encontra próximo ao meridiano central do fuso (ver figura 04) onde a deformação linear é da ordem de 1:2.500 ao passo de que nas projeções RTM e LTM, devido à redução da extensão do fuso, a deformação linear é de valor bem menor. Isto é verificado também analisando os erros de fechamento lineares ocorridos nos sistema UTM*, RTM* e LTM*.

Observando as tabelas de fechamento de poligonais das projeções UTM, RTM e LTM pode-se verificar que, como nestas poligonais a metodologia para o transporte de coordenadas considera as diferenças entre as superfícies de referência dos dados e realiza as transformações necessárias para compatibilizá-los, os valores dos erros de fechamento lineares se apresentam praticamente iguais ficando dentro das tolerâncias exigidas pela NBR 13.133.

Outra questão a ser analisada é quanto ao erro de fechamento angular das poligonais, observando as tabelas apresentadas verifica-se que o valor deste erro se mantém praticamente inalterado tanto de uma projeção para outra quanto de uma metodologia para outra, isto nos evidencia que, para esta poligonal, o valor da redução angular poderia ser desprezado sem que a precisão final dos trabalhos fosse afetada.

4.2 Análise de Poligonal no município de Santa Terezinha de Itaipu

No município de Santa Terezinha de Itaipu a poligonal levantada em campo partiu dos vértices de referência STI04 e STI01 e chegou nos vértices STI02 e STI05. A poligonal denominada STI constou de 15 vértices e apresentou desenvolvimento curvo enquadrada na classe I PRC tipo 2.

Tabela 11 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal STI no Sistema TM (UTM, RTM, LTM)

Estação	UTM		RTM		LTM	
	N	E	N	E	N	E
STI04	7.182.481,7750	759.393,1550	2.183.753,2123	458.285,6023	2.183.877,5043	207.996,2183
STI01	7.182.488,9120	759.581,0670	2.183.763,1657	458.473,3118	2.183.888,1611	208.183,8814
P1	7.182.531,1360	759.787,4106	2.183.808,4647	458.678,9170	2.183.934,2290	208.389,3067
P2	7.182.601,0438	759.948,3511	2.183.880,7519	458.838,7265	2.184.007,1121	208.548,8374
P3	7.182.664,6257	760.093,7803	2.183.946,4837	458.983,1276	2.184.073,3821	208.692,9849
P4	7.182.751,0794	760.292,0781	2.184.035,8686	459.180,0269	2.184.163,5010	208.889,5394
P5	7.182.865,2133	760.553,6820	2.184.153,8693	459.439,7845	2.184.282,4699	209.148,8416
P6	7.182.969,4677	760.795,0687	2.184.261,6919	459.679,4832	2.184.391,1859	209.388,1241
P7	7.183.056,4488	760.993,8968	2.184.351,6112	459.876,9041	2.184.481,8411	209.585,1979
P8	7.183.124,7806	761.149,1908	2.184.422,2376	460.031,0931	2.184.553,0420	209.739,1143
P9	7.183.222,4480	761.342,2649	2.184.522,7512	460.222,6024	2.184.654,2686	209.930,2371
P10	7.183.050,5319	761.336,6043	2.184.350,8387	460.219,5240	2.184.482,3532	209.927,8034
P11	7.182.956,2491	761.329,5187	2.184.256,4982	460.213,8566	2.184.387,9963	209.922,4900
P12	7.182.730,3347	761.303,5253	2.184.030,3101	460.191,2662	2.184.161,7349	209.900,7490
P13	7.182.781,8691	761.429,5563	2.184.083,7088	460.316,4590	2.184.215,6004	210.025,7351
STI02	7.182.750,5360	761.429,2440	2.184.052,3871	460.316,6169	2.184.184,2809	210.026,0105
STI05	7.182.584,9440	761.421,9340	2.183.886,7707	460.311,7953	2.184.018,6547	210.021,8103

Tabela 12 – Análise de fechamento da Poligonal STI no Sistema UTM

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	10,9 seg.	31,4 seg
Linear	0,0723 0,0702	-
Linear absoluto	0,1007	0,1723
Relativo	1:25.550	1:14.939

Tabela 13 – Análise de fechamento da Poligonal STI no Sistema RTM

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	10,3 seg.	31,4 seg
Linear	0,0754 0,0686	-
Linear absoluto	0,1019	0,1723
Relativo	1:25.244	1:14.935

Tabela 14 – Análise de fechamento da Poligonal STI no Sistema LTM

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	10,6 seg.	31,4 seg
Linear	0,0756 0,0684	-
Linear absoluto	0,1019	0,1723
Relativo	1:25.244	1:14.934

Localização no fuso do município de Santa Terezinha de Itaipu nas projeções UTM, RTM e LTM

(OBS.: Tamanho da figura: Altura 10,62 cm; Largura 11,47 / Dimensões: Altura 104% ; Largura 104%)

Morais f6.wmf – Localização do município de Santa Terezinha de Itaipu nas projeções UTM, RTM e LTM

Tabela 15 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal STI no Sistema TM* (UTM*, RTM*, LTM*)

Estação	UTM*		RTM*		LTM*	
	N	E	N	E	N	E
STI04	7.182.481,7750	759.393,1550	2.183.753,2123	458.285,6023	2.183.877,5043	207.996,2183
STI01	7.182.488,9120	759.581,0670	2.183.763,1657	458.473,3118	2.183.888,1611	208.183,8814
P1	7.182.531,1275	759.787,4073	2.183.808,4695	458.678,9162	2.183.934,2351	208.389,3060
P2	7.182.601,0160	759.948,3445	2.183.880,7596	458.838,7245	2.184.007,1233	208.548,8356
P3	7.182.664,5808	760.093,7704	2.183.946,4943	458.983,1242	2.184.073,3985	208.692,9818
P4	7.182.751,0102	760.292,0636	2.184.035,8826	459.180,0219	2.184.163,5237	208.889,5347
P5	7.182.865,1127	760.553,6604	2.184.153,8885	459.439,7763	2.184.282,5018	209.148,8342
P6	7.182.969,3368	760.795,0407	2.184.261,7145	459.679,4725	2.184.391,2249	209.388,1144
P7	7.183.056,2928	760.993,8632	2.184.351,6371	459.876,8913	2.184.481,8864	209.585,1866
P8	7.183.124,6040	761.149,1533	2.184.422,2653	460.031,0791	2.184.553,0916	209.739,1020
P9	7.183.222,2393	761.342,2230	2.184.522,7787	460.222,5876	2.184.654,3216	209.930,2244
P10	7.183.050,3973	761.336,5714	2.184.350,8572	460.219,5142	2.184.482,3883	209.927,7956
P11	7.182.956,1551	761.329,4941	2.184.256,5118	460.213,8497	2.184.388,0214	209.922,4848
P12	7.182.730,3377	761.303,5272	2.184.030,3116	460.191,2658	2.184.161,7361	209.900,7483
P13	7.182.781,8556	761.429,5553	2.184.083,7105	460.316,4581	2.184.215,6037	210.025,7344
STI02	7.182.750,5360	761.429,2440	2.184.052,3872	460.316,6169	2.184.184,2809	210.026,0106
STI05	7.182.584,9440	761.421,9340	2.183.886,7707	460.311,7953	2.184.018,6547	210.021,8103

Tabela 16 – Análise de fechamento da Poligonal STI no Sistema UTM*

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	10,8 seg.	31,4 seg
Linear	-0,0061 0,6630	-
Linear absoluto	0,6630	0,1723
Relativo	1:3.880	1:14.933

Tabela 17 – Análise de fechamento da Poligonal STI no Sistema RTM*

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	10,3 seg.	31,4 seg
Linear	0,1021 0,0728	-
Linear absoluto	0,1254	0,1723
Relativo	1:20.524	1:14.933

Tabela 18 – Análise de fechamento da Poligonal STI no Sistema LTM*

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	10,3 seg.	31,4 seg
Linear	0,1145 0,1508	-
Linear absoluto	0,1893	0,1723
Relativo	1:13.592	1:14.933

(OBS.: Copiar o gráfico. Tamanho da figura: Altura 8,26 cm; Largura 14,85 / Dimensões: Altura 100% ; Largura 100%)

Morais f7.xls – Diferenças entre as coordenadas da poligonal STI calculada pela metodologia padrão e o método empregado na prática nas projeções UTM, RTM e LTM.

Analisando o gráfico podemos perceber que as diferenças nas coordenadas nas projeções UTM e LTM apresentam valores de maior magnitude do que na projeção RTM, isto pode ser verificado observando o valor encontrado pelo erro de fechamento linear relativo nas projeções TM*, onde as projeções UTM* e LTM* não atendem às normas da NBR 13.133 ao passo que este erro na projeção RTM* é atendido pela norma. Este fato é elucidado observando o croqui de localização da região mapeada nas diferentes projeções (fig 06) e a altitude média da região. O fato da região mapeada no sistema RTM estar em local de pequena ampliação, com coeficiente de deformação linear próximo de 1,00004, e apresentando altitude média de 273 metros, que

acarreta uma redução da distância ao nível do mar na casa de 0,99996, resulta que as correções referentes ao elipsóide e ao cilindro quase se anulam resultando numa correção final praticamente igual a 1, significando que a distância horizontal coletada em campo e a distância plana no cilindro quase se igualam, não originando assim grandes distorções a ponto de o fechamento linear da poligonal ficar fora da tolerância requerida pela norma.

Assim como na poligonal Curitibaanos, as poligonais calculadas nas projeções UTM, RTM e LTM empregando a metodologia padrão apresentam resultados praticamente idênticos para os erros de fechamento ficando dentro das tolerâncias exigidas pela NBR 13.133.

Pode-se observar também que, assim como ocorrido na poligonal Curitibaanos o erro de fechamento angular das poligonais, se apresenta praticamente inalterado tanto avaliando de uma projeção para outra quanto de uma metodologia para outra, evidenciando também que, para esta poligonal, o valor da redução angular poderia ser negligenciado sem que a precisão final dos trabalhos fosse afetada.

4.2 Análise de Poligonal no município de Paracatu

No município de Paracatu a poligonal levantada em campo partiu dos vértices de referência P12A e P12B e chegou nos vértices P11A e P11B. A poligonal denominada Paracatu constou de 17 vértices e apresentou desenvolvimento curvo enquadrada na classe I PRC tipo 2.

Tabela 19 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal Paracatu no Sistema TM (UTM, RTM, LTM)

Estação	UTM		RTM		LTM	
	N	E	N	E	N	E
P12B	8.095.431,1530	300.070,5050	3.095.646,2064	412.745,7596	3.095.610,4439	159.564,3949
P12A	8.095.416,2010	300.008,1280	3.095.631,9017	412.683,2375	3.095.595,9775	159.501,9087
P1	8.095.430,8485	299.928,1142	3.095.647,3743	412.603,3871	3.095.611,2440	159.422,0172
P2	8.095.438,6452	299.849,3568	3.095.655,9840	412.524,7222	3.095.619,6506	159.343,3288
P3	8.095.530,4795	299.707,5538	3.095.749,2702	412.383,8900	3.095.712,5745	159.202,2536
P4	8.095.577,1276	299.602,4481	3.095.796,9976	412.279,2825	3.095.760,0325	159.097,5212
P5	8.095.616,5267	299.521,0317	3.095.837,2323	412.198,2858	3.095.800,0586	159.016,4193
P6	8.095.652,5261	299.502,5475	3.095.873,4172	412.180,1765	3.095.836,1972	158.998,2163
P7	8.095.711,0149	299.429,8580	3.095.932,6482	412.108,1027	3.095.895,2431	158.925,9883
P8	8.095.791,0613	299.357,6674	3.096.013,4283	412.036,7504	3.095.975,8401	158.854,4262
P9	8.095.903,4115	299.269,7339	3.096.126,6697	411.949,9915	3.096.088,8593	158.767,3735
P10	8.096.117,5017	299.101,3611	3.096.342,4662	411.783,8568	3.096.304,2302	158.600,6790
P11	8.096.112,6751	299.200,2570	3.096.336,6183	411.882,6873	3.096.298,6374	158.699,5261
P12	8.096.129,8500	299.284,6866	3.096.352,9181	411.967,2812	3.096.315,1559	158.784,0793
P13	8.096.153,4868	299.417,6153	3.096.375,1776	412.100,4334	3.096.337,7596	158.917,1761
P14	8.096.179,8869	299.558,7746	3.096.400,1150	412.241,8436	3.096.363,0626	159.058,5241
P15	8.096.203,8662	299.686,8711	3.096.422,7671	412.370,1681	3.096.386,0463	159.186,7921
P11A	8.096.198,6030	299.846,4960	3.096.415,8555	412.529,7141	3.096.379,5466	159.346,3584
P11B	8.096.280,2230	299.878,8210	3.096.497,1293	412.562,8774	3.096.460,9072	159.379,3123

Tabela 20 – Análise de fechamento da Poligonal Paracatu no Sistema UTM

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	11,1 seg.	33,4 seg.
Linear	0,0026 0,0522	-
Linear absoluto	0,0523	0,1576
Relativo	1:37.198	1:12.341

Tabela 21 – Análise de fechamento da Poligonal Paracatu no Sistema RTM

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	11,9 seg.	33,4 seg.
Linear	0,0049 0,0548	-
Linear absoluto	0,0550	0,1576
Relativo	1:35.363	1:12.340

Tabela 22 – Análise de fechamento da Poligonal Paracatu no Sistema LTM

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	11,7 seg.	33,4 seg.
Linear	0,0050 0,0548	-
Linear absoluto	0,0550	0,1576
Relativo	1:35.363	1:12.340

Localização no fuso do município de Paracatu nas projeções UTM, RTM e LTM

(OBS.: Tamanho da figura: Altura 10,62 cm; Largura 11,50 / Dimensões: Altura 104%; Largura 104%)

Morais f8.wmf – Localização do município de Paracatu nas projeções UTM, RTM e LTM

Tabela 23 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal Paracatu no Sistema TM* (UTM*, RTM*, LTM*)

Estação	UTM* N	UTM* E	RTM* N	RTM* E	LTM* N	LTM* E
P12B	8.095.431,1530	300.070,5050	3.095.646,2064	412.745,7596	3.095.610,4439	159.564,3949
P12A	8.095.416,2010	300.008,1280	3.095.631,9017	412.683,2375	3.095.595,9775	159.501,9087
P1	8.095.430,8487	299.928,1126	3.095.647,3745	412.603,3785	3.095.611,2443	159.422,0098
P2	8.095.438,6455	299.849,3537	3.095.655,9843	412.524,7050	3.095.619,6511	159.343,3142
P3	8.095.530,4800	299.707,5488	3.095.749,2709	412.383,8583	3.095.712,5753	159.202,2268
P4	8.095.577,1282	299.602,4415	3.095.796,9985	412.279,2396	3.095.760,0335	159.097,4851
P5	8.095.616,5273	299.521,0239	3.095.837,2332	412.198,2344	3.095.800,0596	159.016,3761
P6	8.095.652,5267	299.502,5400	3.095.873,4181	412.180,1238	3.095.836,1983	158.998,1721
P7	8.095.711,0154	299.429,8499	3.095.932,6493	412.108,0427	3.095.895,2441	158.925,9381
P8	8.095.791,0616	299.357,6590	3.096.013,4293	412.036,6837	3.095.975,8411	158.854,3706
P9	8.095.903,4114	299.269,7257	3.096.126,6707	411.949,9171	3.096.088,8600	158.767,3117
P10	8.096.117,5002	299.101,3534	3.096.342,4668	411.783,7678	3.096.304,2302	158.600,6053
P11	8.096.112,6738	299.200,2500	3.096.336,6179	411.882,6100	3.096.298,6367	158.699,4621
P12	8.096.129,8489	299.284,6804	3.096.352,9179	411.967,2139	3.096.315,1554	158.784,0236
P13	8.096.153,4859	299.417,6104	3.096.375,1778	412.100,3821	3.096.337,7595	158.917,1335
P14	8.096.179,8863	299.558,7711	3.096.400,1156	412.241,8091	3.096.363,0628	159.058,4955
P15	8.096.203,8659	299.686,8692	3.096.422,7681	412.370,1490	3.096.386,0470	159.186,7762
P11A	8.096.198,6030	299.846,4960	3.096.415,8555	412.529,7141	3.096.379,5466	159.346,3584
P11B	8.096.280,2230	299.878,8210	3.096.497,1293	412.562,8774	3.096.460,9072	159.379,3123

Tabela 24 – Análise de fechamento da Poligonal Paracatu no Sistema UTM*

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	10,7 seg.	33,4 seg.
Linear	-0,0138 0,0474	-
Linear absoluto	0,0494	0,1576
Relativo	1:39.369	1:12.343

Tabela 25 – Análise de fechamento da Poligonal Paracatu no Sistema RTM*

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	12,9 seg.	33,4 seg.
Linear	0,0944 0,0352	-
Linear absoluto	0,1008	0,1576
Relativo	1:19.304	1:12.343

Tabela 26 – Análise de fechamento da Poligonal Paracatu no Sistema LTM*

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	12,8 seg.	33,4 seg.
Linear	0,0801 0,0379	-
Linear absoluto	0,0886	0,1576
Relativo	1:21.953	1:12.343

(OBS.: Copiar o gráfico. Tamanho da figura: Altura 7,83 cm; Largura 14,89 / Dimensões: Altura 100% ; Largura 100%)

Morais f9.xls – Diferenças entre as coordenadas da poligonal Paracatu calculada pela metodologia padrão e o método empregado na prática nas projeções UTM, RTM e LTM.

Analisando o gráfico podemos notar que as diferenças nas coordenadas em quaisquer das projeções são de valores mínimos com valor máximo de 9 cm, o que explica os resultados encontrados pelos erros de fechamento linear relativo nas projeções TM* e conseqüentemente o atendimento às tolerâncias da NBR 13.133. Este fato é explicado exatamente como ocorreu na poligonal STI na projeção RTM*. A posição da região mapeada no fuso em quaisquer das projeções resulta em valores ligeiramente maiores que a unidade e depois de aplicado as correções referentes ao elipsóide (redução ao nível do mar) o valor final referente às correções ficam bem próximos do valor unitário a ponto de a distância horizontal coletada em campo ser praticamente igual à distância plana na superfície do cilindro.

Observando os erros de fechamento da poligonal Paracatu nas projeções UTM, RTM e LTM, verifica-se que, assim como nas duas últimas poligonais, os resultados apresentados são praticamente iguais atendendo às tolerâncias exigidas pela norma.

Nesta poligonal também se verifica que o erro de fechamento angular ocorrido em quaisquer das projeções e em ambas as metodologias praticamente não sofre variações, comprovando que as correções referentes à redução angular poderia ser negligenciado não alterando a precisão final dos trabalhos.

4 Conclusões e Recomendações

Este estudo permitiu analisar a integração de dados advindos de GPS e estação total a fim de implantar uma rede de levantamento num Cadastro Técnico Urbano, através dos erros de fechamento em poligonais levantadas nas projeções Transversa de Mercator (UTM, RTM e LTM). O trabalho também possibilitou comparar os erros de fechamento ocorridos em poligonais transportadas no sistema TM pela metodologia correta, efetuando-se as reduções necessárias para a integração dos dados, e pelo método usualmente empregado na prática por empresas e profissionais do ramo de mapeamento.

Assim, pelos trabalhos executados nos três municípios estudados e analisando os resultados dos erros de fechamento das poligonais nos três casos

pode-se afirmar que a integração de estação total e GPS é aceitável e atende às tolerâncias da NBR 13.133, em quaisquer das projeções de Mercator e em qualquer posição que a região estiver no fuso.

Apesar dos resultados apresentados pelos erros de fechamento da poligonal STI na projeção RTM* e da poligonal Paracatu nas projeções TM* ficarem dentro da tolerância exigida pela NBR 13.133, o método de transporte de coordenadas nos sistemas TM empregados na prática, onde se negligencia as reduções ao elipsóide e ao cilindro, não devem ser utilizados, pois esses resultados foram obtidos meramente por acaso, pela simples sorte da combinação entre a altitude da região e a posição desta no fuso, haja visto observar os resultados obtidos no município de Curitiba onde esta metodologia originou dados totalmente errôneos e impossíveis de serem utilizados na confecção da base cartográfica de um CTU.

Pelo fato das poligonais implantadas num Cadastro Técnico Urbano utilizarem distâncias curtas, com valores máximos de 500 metros a correção referente à redução angular pode ser desprezada simplificando em muito os cálculos para o transporte de coordenadas nos sistemas TM. Isto foi verificado comparando os fechamentos angulares das poligonais nos três municípios, obtidos pelo transporte de coordenadas nos sistemas TM na metodologia padrão e no método usualmente empregado na prática.

Pelo fato de ainda não existir no mercado um software de automação topográfica que realize o transporte de coordenadas nos sistemas RTM e LTM, é de fundamental importância que haja investimentos em pesquisa para que se desenvolva softwares que realizem estes processos de forma automática, visto que em se tratando de mapeamentos destinados a obras de engenharia e a Cadastros Técnicos estas projeções são as que apresentam melhor aplicabilidade se comparadas com a projeção UTM, pelo fato de conduzirem a uma melhor precisão por proporcionarem uma menor deformação referente ao coeficiente de deformação linear no meridiano central (K_0), portanto terão uma maior tendência de uso.

Ainda sobre os sistemas RTM e LTM, através do presente trabalho pôde-se realizar uma extensa pesquisa bibliográfica resultando que em se tratando destes sistemas ainda não existe uma padronização nacional referente às características definidoras destas projeções como: o valor do coeficiente de deformação linear no meridiano central (K_0) e o valor das coordenadas de origem do sistema, sendo encontrado em literaturas do assunto (congressos, livros didáticos) até 3 versões diferentes na especificação destes sistemas. Assim, faz-se necessário que a comunidade científica do ramo de mapeamento, normalize estas características de forma a uniformizar os trabalhos que por ventura forem realizados nestas projeções.

5 Referências Bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas:** *NBR13.133 - Execução de levantamento topográfico*. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas:** *NBR14.166 – Rede de Referência Cadastral Municipal*. Rio de Janeiro, 1998.
- Asin, F. M.:** *Geodésia y Cartografía Matemática*. Madrid, 3ª Ed. , 1990.
- Blachut, T. J., Chrzanowski, A., Saastamoinen, J. H.:** *Cartografía y levantamientos urbanos*. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. New York, Inc. Springer-Verlag, 1979.
- Brasil :** *Manual Técnico; coordenadas planas, sistema UTM*. Diretoria do Serviço Geográfico do Exército. Rio de Janeiro, Ministério do Exército, 1975.
- Carvalho, F. R. de :** *Cadastro Geoambiental Polivalente, Projeção TM (Conforme de Gauss)*. Informativo COCAR especial. Presidência da República, Secretaria de Planejamento, Comissão de cartografia, Brasília, Dezembro de 1984.
- Dalazoana, R.; Freitas, S. R. C. de. :** *A Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do SIRGAS : Implicações na Cartografia*. In: 30 anos de pós-graduação em ciências geodésicas no Brasil, V1, UFPR, Curitiba, 2001.
- Gemael, C. :** *Introdução à Geodésia Geométrica (1ª parte)*. Curitiba: UFPR, 1987.
- Gripp Jr., J.; Silva, A. S. :** *Representações Cartográficas*. Notas de Aulas da disciplina Civ-422 – Representações Cartográficas, Departamento de Engenharia Civil, UFV, 1997.
- Gripp Jr., J.; Silva, A. S. :** *Geodésia Geométrica*. Notas de Aulas da disciplina Civ-425 – Geodésia Geométrica, Departamento de Engenharia Civil, UFV, 1997.
- Loch, C. ; Cordini, J. :** *Topografia Contemporânea: Planimetria*. Florianópolis, Ed. Da UFSC, 1995.
- Oliveira, C. de. :** *Curso de Cartografia Moderna*. Rio de Janeiro, IBGE, 2ª Edição, 1993.
- Philips, J. :** *Os Dez Mandamentos para um Cadastro Moderno de Bens Imobiliários*. In: Anais – II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC. Florianópolis, 13 a 17 Out 1996.
- Philips, J. :** *Uma projeção geodésica para o cadastro imobiliário brasileiro*. Recife, 1997.
- Robinson, A. H.; Sale, R. :** *Elements of cartography*. John Wiley & Sons, New York. 1995.
- Rocha, R. dos S. :** *Algumas considerações sobre as projeções cartográficas utilizadas no Brasil para mapeamentos em grandes escalas*. In: Anais – III Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, Florianópolis, 18 a 22 Out 1998.
- Romão, V. M. C.; Carneiro, A. F. T.; Silva, T. F. :** *Rede de Referência Cadastral Municipal: Uma proposta do Grupo de Trabalho sobre Cadastro Municipal (GTCM) do DECart – UFPE*. In: Anais – II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, Florianópolis, 13 a 17 Out 1996.
- Sherrer, R. :** *Redução de Distâncias nos Distanciômetros a Infravermelho*. Revista Brasileira de Cartografia, N.38, Junho de 1985.