
CÁLCULO DE FATOR DE ESCALA UTM PARA MEDIÇÕES COM ESTAÇÕES TOTAIS

DANIEL CARNEIRO DA SILVA¹

LILIAN NINA SILVA FREDERICO²

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
danielcs@ufpe.br¹, liliannina@hotmail.com²

RESUMO - As estações totais trazem embutidas uma ampla série de programas prontos para a maioria das aplicações em levantamentos topográficos e locações de obras. Além desses programas estão disponíveis opções de ajustes para correção das distâncias devido a altitude, correção da curvatura da Terra e fator de escala UTM. Essas correções podem ser todas agrupadas em um único fator de escala, visto que levantamentos topográficos cobrem áreas com extensões de poucas centenas de metros ou poucos quilômetros. Porém se por um lado os recursos tecnológicos estão disponíveis, por outro, na prática se observa que aquelas correções não são normalmente feitas embora a projeção UTM tenha se tornado um padrão comum para projetos de engenharia de modo geral, mesmo já sendo provado que essa projeção não é a mais indicada para projetos de engenharia. Este artigo discute os erros cometidos pelo não uso do fator de escala UTM e propõe o uso de duas fórmulas simplificadas de cálculo, que podem ser usadas facilmente em campo que tem precisão suficiente para a maioria dos trabalhos comuns realizados com uma estação total.

ABSTRACT - The total stations come with a series of functions and procedures that are ready for most of the applications in topographic surveying and construction sites. Beyond these programs are also available options for adjusting the correction of distances due to latitude, correction of the curvature of Earth and the UTM scale factor. These corrections may be grouped in a single scale factor, given that topographic surveys usually cover areas only from a few hundred meters long to a few kilometers. However, even if the technological resources are available, in practice it is seen that these corrections aren't normally made, although the UTM projection became standard for engineering projects, even though its proven that this projection isn't the most adequate for engineering projects. This article discusses the mistakes made by the lack of use of the UTM scale factor and proposes the use of two simplified formulas that may be easily applied in field and have sufficient accuracy for most of the common jobs performed with the total station.

1 INTRODUÇÃO

As estações totais trazem embutidas uma ampla série de programas prontos para a maioria das aplicações em levantamentos topográficos e locações de obras. Além desses programas também estão disponíveis opções de ajustes para correção das distâncias devido a altitude, curvatura da Terra e fator de escala UTM. Essas correções podem ser todas agrupadas em um único fator de escala, visto que levantamentos topográficos cobrem áreas com extensões de poucas centenas de metros ou poucos quilômetros.

Porém mesmo com vários recursos de cálculos disponíveis, na prática se observa que aquelas correções não têm sido normalmente feitas embora a projeção UTM tenha se tornado um padrão comum para projetos de engenharia de modo geral, como projetos de urbanização, drenagem, projetos de estradas, etc., mesmo já sendo provado que essa projeção não é a mais indicada para projetos de engenharia. A partir dessas observações, a questão passou a ser discutida e foi introduzida em disciplinas de graduação e pós graduação do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE em levantamentos e locação de obras, como para a aquisição de dados topográficos de modo geral, cujo material básico é usado neste artigo.

O sistema de referência das projeções cartográficas é o elipsóide do sistema oficial do país, em que se baseia também o sistema UTM. No caso dos levantamentos topográficos a superfície de referência é o plano topográfico local, que a rigor deve ser reduzido da altitude média da região para o nível médio dos mares quando há necessidade de compatibilidade com coordenadas em UTM.

O conjunto de normas nacionais da ABNT, traz a ABNT NBR 13.133 Execução de Levantamento Topográfico e a NBR 14.166 Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento. O item 3.4 da NBR 13.133, especifica para o sistema de projeção topográfica (ou sistema topográfico local) que as deformações máximas para a extensão de 80 não deve ultrapassar o erro relativo de 1/35000. Neste mesmo item sugere que a origem pode ser um ponto com coordenadas UTM e no item 5.3 volta ao assunto, sugerindo que sejam usados dois pontos, mas aparentemente é apenas para dar o azimute do levantamento topográfico. Na NBR 14.166 são dadas todas as fórmulas para as transformações entre as coordenadas no plano topográfico local e as correspondentes geodésicas na projeção UTM para fins de rede municipal. Porém nenhuma das duas alerta sobre as devidas transformações para uso em levantamento comuns ou locação de obras de engenharia, como por exemplo é feito em USARMY(2007).

Várias entidades públicas de engenharia, federal, estadual e municipal, têm projetos com base na projeção UTM, como exemplos, o Projeto de Transposição do Rio São Francisco, rodovias no Estado de São Paulo (DER-SP, 2006) e instruções para apresentação de projetos de construção de prédios em cidades. Porém ocorre normalmente o uso de "falso UTM", isto é, um ponto do início do projeto tem suas coordenadas determinadas em UTM e todo o levantamento planimétrico é transladado de acordo com aquela coordenada, sem as devidas correções. Neste caso se for realizada uma verificação de ponto na outra extremidade do projeto a coordenada falsa UTM transladada não vai coincidir com a coordenada UTM real medida em campo.

Como a projeção UTM tem distorções que podem atingir facilmente valores além da tolerância dos projetos de engenharia (1:5000), é necessário fazer uso de fatores de correção de escala e de redução de altitude. Outra opção ao uso da UTM é a LTM (Projeção Local Transversa de Mercator) que tem deformações menores porque usa fusos com largura de 1°. Caso o cilindro seja secante, com $K_0 = 0,999995$, o erro relativo na latitude 33° é de 1/45662. Esta projeção está sendo adotada pelo DINIT (DINIT, 2006) e pelo DEINFRA Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina (MIRA, 2011).

Este artigo revê brevemente alguns conceitos básicos do Sistema Geodésico Brasileiro, da projeção UTM e fatores de correções de escala e altitude que podem facilmente serem introduzidos nas estações totais durante as medições em campo. Em seguida discute as diferenças nas medições pelo não uso do fator de escala UTM e mostra duas fórmulas simplificadas de cálculo, de aplicação simples e fácil a partir da coordenada E (este) UTM, e finalmente discute os resultados de algumas simulações.

2 SISTEMA DE REFERÊNCIA E PROJEÇÃO UTM

O sistema geodésico atual do Brasil é o SIRGAS 2000, mas é comum encontrar material cartográfico nos sistemas anteriores, como Córrego Alegre e SAD-69. O SIRGAS é muito aproximado do WGS-84 que é o sistema adotado pelo sistema de posicionamento GPS GNSS. São necessárias transformações para compatibilizar dados de sistemas diferentes, o que pode ser feito com o programa ProGrid disponível no site do IBGE.

O SIRGAS 2000 é definido a partir de um elipsóide com os seguintes parâmetros:

- elipsóide GRS-80 (Geodetic Reference System de 1980)
- a (semi-eixo maior) = 6378137,0000m
- b (semi-eixo menor) = 6356752,31414m
- f (achatamento) = $1/298.257222101 = (a-b)/a$
- $e^2 = 0,00669438000229$
- $e'^2 = 0,00673949677548$

2.1 Características gerais da projeção UTM

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.

As principais características do sistema de projeção UTM são:

- A superfície de projeção é um cilindro transversal (Figura 1) e a projeção é conforme (isto é, os ângulos são mantidos).
- A Terra é dividida em 60 fusos ou zonas de 6° de longitude. O cilindro transversal adotado como superfície de projeção assume 30 posições diferentes, já que seu eixo mantém-se sempre perpendicular ao Meridiano Central (MC) de cada fuso ou zona.

- Numeração dos fusos de 1 a 60, começando no anti-meridiano de Greenwich crescendo no sentido Leste. Para a perfeita localização sobre a Terra é preciso definir sempre qual o fuso ou o MC.
- Aplica-se ao meridiano central de cada fuso ou zona um fator de redução de escala igual a 0,9996, para minimizar as variações de escala dentro do fuso ou zona. Como consequência existem duas linhas secantes aproximadamente retas, uma a leste e outra a oeste, distantes cerca de 1° 37' do meridiano central, cujo fator é igual a 1,0000.
- Cada um dos fusos UTM, tem origem na interseção do seu meridiano central com a linha do Equador. As coordenadas UTM destes pontos são E (Este)=500.000,00 m e N (Norte)=10.000.000,00m, para o Hemisfério Sul, e N=0,0m, para o Hemisfério Norte.
- Latitudes limites: 84 ° Norte e 80 ° Sul.

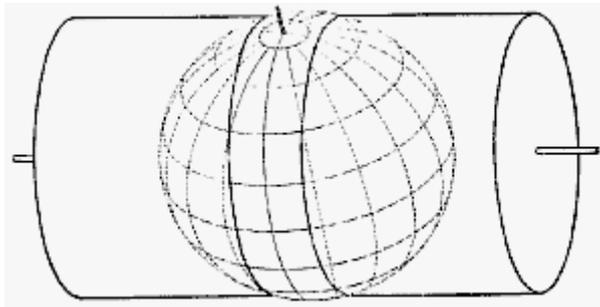


Figura 1 – Cilindro transversal

A projeção UTM tem sido usada de forma geral para mapeamento em escalas grandes, como 1:1000 e 1:2000, e adotada em projetos de engenharia, porém ela tem, como todas as projeções cartográficas, distorções que podem facilmente extrapolar as tolerâncias de erros nas medições, entre as medidas reais do terreno as medidas em UTM, como estão no projeto, ou vice-versa. Segundo norma do IBGE (IBGE, 1983) em levantamentos para fins topográficos devem ser observadas as seguintes tolerâncias em erro relativo nas medições de distâncias:

- Controle e locação de obras de engenharia: 1:20.000.
- Levantamento de áreas de pequeno valor e pequenas obras: 1:5.000.

2.2 Fatores de escala UTM preciso e aproximados

As transformações necessárias entre medidas do projeto em UTM e as medidas em campo devem ser feitas com o fator de escala K da posição geodésica do ponto do projeto, que corresponde a uma distorção linear em função das coordenadas. Existem fórmulas com vários níveis de precisão na literatura a partir de coordenadas geodésicas (latitude, longitude, h) ou com coordenadas UTM como a seguinte:

$$K = K_0 \left[1 + \frac{E}{2N_1^2} (1 + n^2) + \frac{E_1^2}{24N_1^4} \right] \quad (1)$$

Em que $K_0 = 0,9996$

E corresponde a coordenada este UTM do ponto.

N_1 raio de curvatura da seção transversal

$$N_1 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}} \quad (2)$$

$n = e' \cos \Phi$

a = semi-eixo maior da elipse.

e^2 = primeira excentricidade ao quadrado

Φ = latitude auxiliar

A Figura 2 mostra a representação esquemática da variação da distorção na projeção. A partir do meridiano central existe um núcleo de redução das distâncias que aumenta de 0,9996 até 1,000, quando encontra a linha de secância. A partir desta linha até a extremidade do fuso existe uma ampliação que chega ao valor de $K = 1,0010$.

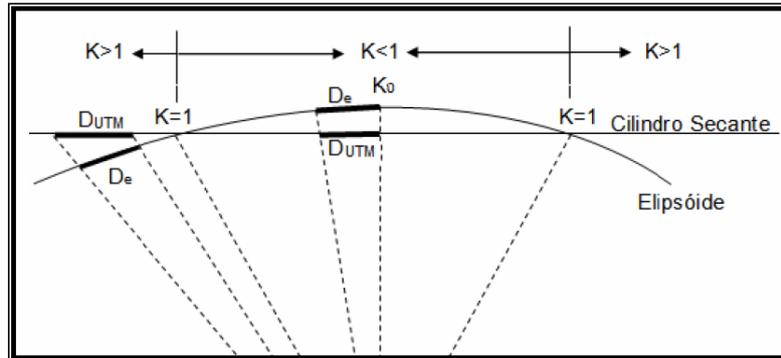


Figura 2 – Áreas de ampliação e redução dentro do fuso UTM

A distorção calculada de forma precisa é dada pela equação 1 cujo cálculo em campo não é prático. Porém para cálculos aproximados podem ser usadas fórmulas mais simples como a 3 ou a 4 a seguir:

$$K = K_0 \left(1 + \frac{y^2}{2.Rm^2} \right) \tag{3}$$

$$K = \frac{K_0}{\cos\left(\frac{y}{Rm}\right)} \tag{4}$$

Em que: $K_0 = 0,9996$

$Y = E - 500000$ sendo E a coordenada este em UTM

$Rm = 3671 \text{ km}$

A fórmula 3 e similares são encontradas em diversas referências como Kahmen e Faig (1988), Bomford (1962), ICSM(2002) e Deakin (2008). A fórmula 4 é encontrada em Nielsen (2007).

2.3 Redução de altitude

A redução de altitude é a correção das medidas sobre o terreno para o nível dos mares. As medidas planimétricas topográficas são realizadas sobre a superfície do terreno com altitude média “h”, que devem ser conhecidas a partir dos RN (Referências de Nível) do IBGE e devem ser reduzidas para a superfície de referência de altitude zero (0). Neste caso a superfície de referência pode ser esférica, com o raio médio que segundo algumas referências é de 6378000m e para outros de 6371000m.

Na Figura 3 Sh é uma distância na superfície do terreno, R é o raio médio da Terra e S é a distância equivalente sobre a superfície de altitude igual a 0,00m, cuja relação com Sh é dada por:

$$S = Sh \cdot \frac{R}{R+h} \tag{5}$$

Considerando Sh igual a 1,00 a distância S passa a ser o fator de redução de altitude Fa , então fica:

$$Fa = \frac{R}{R+h} \tag{6}$$

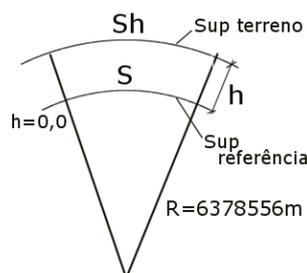


Figura 3 – Redução de altitude

O fator de redução de altitude só passa a ser significativo em altitudes a partir de algumas centenas de metros.

As formulas acima são para medições no terreno a serem compatibilizadas com dados da projeção UTM. Quando se parte de coordenadas de marcos ou vértices em UTM (que estão no nível zero) para medidas no terreno na altitude h a NBR 14166 usa o fator de elevação F_{elev} , que o inverso de (6):

$$F_{elev} = \frac{R+h}{R} \quad (7)$$

3 METODOLOGIA

A partir das fórmulas apresentadas foram selecionados pontos com coordenadas UTM com características adequadas para ilustrar diversas situações facilmente encontradas em levantamentos topográficos e implantação de projetos de engenharia. Os exemplos foram divididos em três: um para mostrar que os fatores de escala podem extrapolar limites de precisão de medições em engenharia; o segundo para comparar as diferenças obtidas entre o uso de fator de escala preciso e fatores aproximados; e o terceiro para mostrar os valores combinados de fatores de escala e redução de altitude para entrada em estação total.

3.1 Exemplos de fator de escala precisos

O fator de escala da projeção UTM tem valores mais altos tanto quanto mais próximo dos bordos. Com os exemplos foram calculados os fatores de escala para três pontos em cidades diferentes de Pernambuco, nos fusos 24 e 25 (Figura 4):

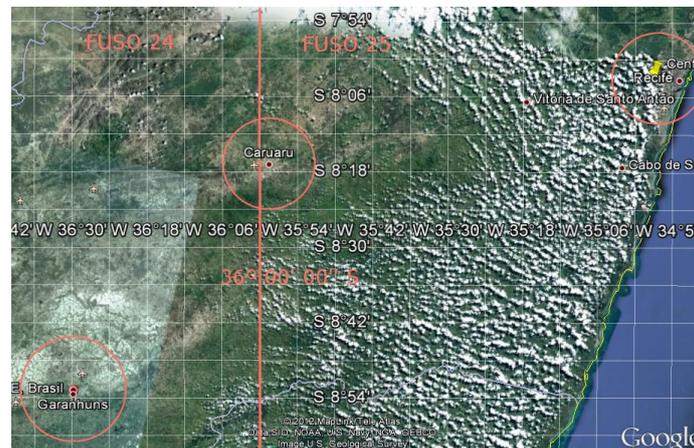


Figura 4 – Localização dos pontos e posição do limite do fuso 24 e 25 no meridiano 36° W
Fonte: GoogleEarth

- Ponto 1: Ponto em Recife, rede da UFPE, Ponto EPS4, coordenadas geográficas a 8°03'05,84147''S e 34°57'11,62465''W.
- Ponto 2: Ponto em Caruaru, (fuso 25 e Meridiano Central 33° W). A cidade é cortada pelo meridiano 36°W bordo de fuso 24, coordenadas geográficas a 8° 18' 0,53352''S e 35° 59' 19,15000''W.
- Ponto 3: Ponto em Garanhuns, (fuso 24 e Meridiano Central 39° W). Cidade situada em grande altitude, coordenadas geográficas a 8° 52' 37,64104''S e 36° 28' 27,8700''W.

Para as conversões entre coordenadas geodésicas e UTM e fator de escala preciso foi usada a planilha eletrônica disponível em www.icsm.gov.au/gda/redfearn.xls, que embora esteja com os parâmetros do elipsoide WGS-84 fornece as mesmas coordenadas que o programa PROGRID do IBGE, que usa o SIRGAS-2000.

Na Tabela 1 constam os pontos com suas coordenadas em UTM, as altitudes, o fator de escala preciso e as diferenças em uma distância de 1.000m devido ao fator de escala. Por exemplo, para o ponto EPS4 a distância em UTM é maior 173mm/km, ou 1,7cm em 100m. Para o ponto Caruaru a diferença é muito significativa, como já previsto por estar na borda de fuso, de 942mm, ou 9,4 cm em 100m. Os erros relativos são 1:5780 e 1:1061, respectivamente.

Os erros relativos são maiores que os especificados para as obras importantes de engenharia que exigem precisão relativa melhores que 1:20.000, apenas devidos ao do fator de escala. Mesmo para obras pequenas em locais como Caruaru, já se extrapola o exigido em precisão.

Tabela 1 – Exemplos de diferenças entre medições no terreno e medições em UTM em mm/1000m

Ponto	UTM			Altitude(m)	Fe preciso	Dif. mm/1000m
	E	N	FUSO			
eps4	284742,576	9109481,118	25	5,000	1,0001734790	173,000
Caruaru	170574,340	9081279,600	24	556,000	1,0009418110	942,000
Garanhuns	777777,153	9107787,560	24	882,000	1,0005549890	554,000

3.2 Comparações com uso de fatores de escala aproximados

As distâncias dos bordos para o meridiano central variam com a latitude, sendo maior no equador, com isto os fatores de escala máximos vão diminuindo a medida que se aproximam dos polos. Para exemplificar melhor foram escolhidas algumas latitudes que cobrem o Brasil mostradas na Tabela 2, com as coordenadas UTM de pontos no bordo esquerdo do fuso que serão usadas para comparações com a fórmula precisa (1).

Tabela 2 – Coordenadas UTM no bordo esquerdo do fuso em latitudes sul

Lat.	UTM	
	E	N
0	166021,443	10000000,000
-10	171071,264	7785705,974
-20	186073,680	7785705,974
-30	210590,347	6677424,096

As fórmulas aproximadas de fator de escala têm precisão suficiente para medições curtas com até algumas centenas de metros.

Reescrevendo a formula (3) para o fator de escala 1:

$$F1 = 0,9996 \left(1 + \frac{(500000-E)^2}{2.R^2} \right) \quad (8)$$

Com a fórmula (4) o fator de escala 2 fica:

$$F2 = \frac{0,9996}{\cos\left(\frac{500000-E}{R}\right)} \quad (9)$$

Em que E é a coordenada Este (eixo X) UTM e R é o Raio médio da Terra (6371000m).

A Tabela 3 mostra, para os pontos da Tabela 2, os fatores de escala preciso (F preciso), os fatores obtidos com as fórmulas 8 (F1) e 9 (F2). Nas colunas seguintes estão as diferenças entre o Fe preciso e Fe1 e Fe2, em metro/1000m, e como as diferenças são pequenas, também em mm/1000m

Tabela 3 – Fatores de escala e diferenças em distâncias de 1000m

Lat.	Fator de Escala			Dif m/1000m		Dif mm/1000m	
	F preciso	F1	F2	F1	F2	F1	F2
0	1,0009810614	1,000973467	1,0009750413	0,007594	0,006020	7,6	6,0
-10	1,0009390613	1,000932247	1,0009337280	0,006815	0,005333	6,8	5,3
-20	1,0008182511	1,000813491	1,0008147197	0,004760	0,003531	4,8	3,5
-30	1,0006335170	1,000631352	1,0006322399	0,002165	0,001277	2,2	1,3

Conforme os dados da Tabela 3 as diferenças em medições de extensões de 1000m, usando a fórmula precisa ou as aproximadas, são inferiores a 8mm, e assim menores que os erros acumulados de centragem do instrumento e prisma, pontaria e precisões das medições angulares e de distâncias de uma estação total.

A fórmula 4 tem uma diferença menor e portanto aproximação melhor e à fórmula precisa e pode ser facilmente utilizada com uma calculadora que tenha a função cosseno. A fórmula 3 pode ser usada com calculadoras mais simples.

3.3 Fator de escala e redução de altitude combinados

O fator de escala UTM combinado com o fator de correção de altitude podem ser introduzidos em uma estação total facilmente, normalmente na opção de "ajuste" ou "setting". Conforme a marca da estação total, este é introduzido como "scale" ou *fator de escala* ou *fator de quadrícula*.

Por exemplo, para as estações totais da marca Topcon (TOPCON, 2014), são dadas instruções com sequência do tipo:

- Fa (Fator de altitude) = $R/(R+ALTIT)$
- Fe (Fator de escala= Fator de escala no ponto do projeto em UTM).
- DHg (Distância de Quadrícula ou UTM).
- DH (Distância de terreno) = Dhg/Fq

O fator de quadrícula é dado por:

$$Fq = Fa \times Fe \quad (10)$$

As distâncias medidas em UTM são as distâncias de quadrícula dadas por:

$$DHg = DH \times Fq = DH \times Fa \times Fe \quad (11)$$

As distâncias medidas no terreno em relação com medidas de projeto em UTM são dadas por:

$$DH = DHg / Fq \quad (12)$$

A Tabela 4 mostra os resultados para os fatores de quadrícula para os exemplos de locais da Tabela 1, usando o fator de escala preciso e as reduções de altitude.

Tabela 4 – Exemplo do efeito combinado do fator de escala com a correção de altitude em distâncias de 1000m

Ponto	Fe preciso	Altitude	Fa (altitude)	Dif mm em 1000m	Fa x Fe preciso	Dif mm em 1000m
Eps4	1,0001734790	5,000	0,9999992	-0,8	1,0001727	172,7
Caruaru	1,0009418110	556,000	0,9999127	-87,3	1,0008545	854,5
Garanhuns	1,0005549890	882,000	0,9998616	-138,4	1,0004165	416,5

Para o ponto Garanhuns ocorre a maior correção devido à altitude (-138,4 mm), seguido do ponto Caruaru com -87,3mm. Mas o ponto Caruaru ainda tem a maior correção total (854,5mm) por conta da posição no fuso UTM. A correção de altitude não é significativa para o ponto Eps4 que está pouco acima do nível do mar.

Como alternativa aos procedimentos acima vale ainda lembrar que alguns programas mais completos que estão sendo embutidos nas estações totais mais recentes para trabalharem mais integrados com receptores GNSS, tem uma função para a operação chamada "calibração". Para esta operação são medidos com a estação total alguns pontos na área do projeto que tem coordenadas UTM conhecidas, seja de uma rede existente ou medidos previamente com GNSS, e o programa calcula uma transformação afim, de modo que passa a medir os demais pontos no sistema UTM.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os fatores de escala podem facilmente extrapolar as precisões para levantamentos e locações topográficos em projetos de engenharia, principalmente nos extremos de bordos. Em posições intermediárias aparentemente em aplicações práticas as diferenças entre as distâncias em UTM e as reais são consideradas como erros inerentes aos métodos topográficos, mas é bom lembrar que as medições de distâncias com MED embutido nas estações totais são muito precisos e não se comparam com as medições com trenas.

O fator de correção de altitude só é significativo a partir de altitudes como 300m ou maior e basta ser calculado uma vez para a altitude média da área de projeto.

Os fatores de correção de escala variam muito no sentido leste-oeste e pouco no norte-sul. O ideal é ser calculado para pontos em extremidades de lados e tomar uma média, mas também se pode calcular um valor médio para o ponto médio do centro do projeto e fazer uma verificação para os extremos e analisar as diferenças máximas aos usar um fator ou outro. No caso de obras lineares como estradas, canais e oleodutos as correções podem ser feitas por pequenos trechos.

Nota-se que é preciso ainda checar se todo o projeto realmente está em projeção UTM ou se apenas um ponto foi dado em UTM e as demais coordenadas foram transportadas com as medidas reais do terreno, como é infelizmente muito comum. Neste caso a projeção UTM é classificada neste artigo como "falsa" e se as distâncias já são reais não necessitando de correções.

5. CONCLUSÕES

Os levantamentos topográficos ou locações de obras com estações totais necessitam de correções nas distâncias quando se usa o sistema de projeção UTM, visto que as distorções nos extremos dos fusos extrapolam em muito as tolerâncias de precisão dos projetos de engenharia.

Para uso prático em campo os usos de fórmulas aproximadas são adequados para fins de trabalhos rotineiros com extensões pequenas com poucas centenas de metros. Os valores obtidos para os fatores de escala são fáceis de serem introduzidos nas estações totais, o que pode ser feito na maioria dos modelos do mercado, nas opções de "ajuste" ou "settings".

REFERÊNCIAS

BOMFORD, A.G. Transverse Mercator arc-to-chord and finite distance scale factor formulae. **Empire Survey Review**. No. 125, Vol. XVI, pp. 318-327. 1962.

DEAKIN, R.E. Traverse computation on the UTM projection for surveys of limited extent. In: **21st Victorian Regional Survey Conference Water, Wind & Power, Cowes**. Phillip Island, Victoria :The Institution of Surveyors. 2008. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/228673869_TRAVERSE_COMPUTATION_ON_THE_UTM_PROJECTION_FOR_SURVEYS_OF_LIMITED_EXTENT.

DER-SP. **Levantamento Topográfico, Batimetria e Cadastro Especificação Técnica ET-DE-B00/002**. São Paulo: Secretaria de Transportes, Departamento de Estradas de Rodagem. 2006.

DINIT. **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários Publicação IPR- 726**. Rio de Janeiro: DINIT. 2006.

IBGE. **Resolução PR n.22 de 21/07/83**. IBGE Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1983.

ICSM, (2002). **Geocentric Datum of Australia Technical Manual – Version 2.2**, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM), February 2002. Disponível em: <http://www.icsm.gov.au/icsm/gda/gdatm/index.html>

KAHMEN H., FAIG, W. **Surveying**. Berlin: de Gruyter. 578 p. 1988.

MIRA. Sistema de Coordenadas Planas LTM Aplicado em Projetos Rodoviários. **A Mira**. Criciúma: Editora e Livraria Luana Ltda. ano XXI, n. 159. 2011.

NIELSEN, M. **Accurate Distance Calculations in UTM Projections**. 2007. Disponível em: <http://www.sharpgis.net/post/2007/10/14/Accurate-distance-calculations-in-UTM-projections>. Acesso em 6/6/2014.

TOPCON. **Manual de Instruções Estação Total Eletrônica Série GTS-100N GTS-102N GTS-105N**. Disponível em: <http://www.embratop.com.br/wp-content/themes/embratop/pdf/MANUAL-DE-ESTACAO-TOTATL-TOPCON-LINHA-GTS-100N.pdf> (Acesso em 01/06/2014).

USARMY. **Control and Topographic Surveying. EM 1110-1-1005**. US Army Corps of Engineers. 2007. Disponível em: http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-1-1005.pdf (Acesso em 2/06/2014).