

Cálculo aproximado de fator de escala UTM para uso direto em estações totais

Rough calculation of UTM scale factor for direct use in total stations

Daniel Carneiro da Silva¹
Lilian Nina Silva Frederico¹
Glauber Carvalho Costa²

¹ Universidade Federal de Pernambuco - UFPE Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE

danielcs@ufpe.br, liliannina@hotmail.com

² Maia Melo Engenharia Ltda, Recife, PE
glauber@maiamelo.com.br

Recebido em 02/08/2015 – Aceito em 11/04/2016

Received on 08/02/2015 – Accepted on 04/11/2016

RESUMO – As modernas estações totais trazem uma ampla série de funções prontas para aplicações em levantamentos topográficos e locações de obras. Além dessas funções estão disponíveis opções de ajustes para correção das distâncias devido à altitude, correção da curvatura da Terra, refração atmosférica e fator de escala UTM. Essas correções podem ser todas agrupadas em um único fator de escala, que é adequado para a precisão necessária para as distâncias usuais medidas sobre o terreno, nos levantamentos topográficos com estações totais. Porém se por um lado os recursos tecnológicos estão disponíveis, por outro, na prática, se observa que aquelas correções não são normalmente aplicadas, seja por desconhecimento da metodologia ou pela relativa dificuldade dos necessários cálculos quando está envolvida a projeção UTM. A projeção UTM se tornou um padrão comum para projetos de engenharia de modo geral, embora essa projeção possa introduzir alterações nas distâncias muito acima das precisões exigidas para projetos e locação de obras. Este artigo discute os erros cometidos pelas deformações do fator de escala UTM e propõe o uso de duas fórmulas simplificadas de cálculo desse fator, que pode facilmente ser calculado em campo em serviços de locação com uso apenas de calculadoras de bolso e que tem precisão suficiente para a maioria dos trabalhos realizados com uma estação total.

Palavras chaves: Topografia, locação de obras, projeção UTM

ABSTRACT Modern total stations bring a wide range of ready-made functions for application in surveying and construction locations. In addition to these functions, there are options available that allow for the correction of distances due to the altitude, Earth curvature correction, atmospheric refraction and UTM scale factor. These fixes can all be grouped into a single scale factor, which is appropriate for achieving the required accuracy for distances measured on the ground, common in total station surveying. But if on one hand the technological resources are available, on the other, in practice, it is observed that those corrections are not usually made because of the relative difficulty of the calculations when using UTM projection is involved. The UTM projection has become a common standard for general engineering projects, even when it has been already proven that this projection may result in distance changes far above the required accuracy for projects and lease works. This article discusses the mistakes made by the UTM scale factor deformations and proposes the use of two simplified formulas, which can be easily applied in the field during setting out of buildings using pocket calculators and has sufficient precision for most of the work done with a total station.

Keywords: surveying, setting out of buildings, UTM projection

1. INTRODUÇÃO

As estações totais trazem uma ampla série de funções e programas prontos para a maioria das aplicações em levantamentos topográficos e locações de obras. Além dessas funções também estão disponíveis opções de ajustes para correção das distâncias devido a altitude, curvatura da Terra, refração atmosférica e fator de escala UTM. Essas correções podem ser todas agrupadas em um único fator de escala, sendo adequadas

para as distâncias usuais medidas nos levantamentos topográficos, principalmente em serviços de locação de obras, principalmente porque para os serviços de levantamentos normais as correções e reduções podem ser efetuadas em escritório.

Porém mesmo com esses vários recursos de ajustes disponíveis, os autores tem observado em obras de diversos portes e em listas de discussões pela Internet, que na prática as correções não têm sido normalmente feitas, inclusive a do fator de escala UTM. A projeção UTM se

tornou um padrão comum para projetos de engenharia de modo geral, como projetos de urbanização, drenagem, projetos de estradas, etc., mesmo já sendo constatado que essa projeção não é a mais indicada devido às alterações de distâncias que podem ser muito superiores aos limites de tolerâncias de projetos, locação e acompanhamento de obras como ficará demonstrado mais abaixo.

Os principais motivos do não uso da correção de fator de escala UTM em obras podem ser: a) os assuntos projeções cartográficas e transformações entre sistemas geodésicos não fazem parte normalmente do currículo de engenharia civil e arquitetura, havendo exceções como a Escola de Engenharia de São Carlos (SILVA, 2012) e Escola Politécnica (EPUSP, 2004), ambas da USP (Universidade de São Paulo); b) os diversos cálculos envolvidos nas fórmulas completas necessitam de um computador. Como solução para esta última questão este artigo apresenta duas fórmulas aproximadas que fornecem fatores de escala adequados para uso com calculadora de bolso, com precisões suficientes para aplicações em locação de obras, mesmo de grandes extensões e que podem ser introduzidas com facilidade em uma estação total.

Este artigo revê brevemente alguns conceitos básicos do Sistema Geodésico Brasileiro, planos topográficos, projeção UTM e fatores de correções de escala e altitude que devem ser 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 as fórmulas simplificadas de cálculo, e finalmente discute os resultados de algumas simulações.

2. PLANOS TOPOGRÁFICOS E PROJEÇÃO UTM

A superfície de referência da topografia é um plano tangente ao NMM (Nível Médio dos Mares) (ABNT, 1994) ou o geóide, ou ainda também ao elipsóide (ABNT,1998), sobre o qual os detalhes planimétricos da superfície topográfica são projetados. A superfície de referência das projeções cartográficas é um elipsoide adotado oficialmente pelo sistema geodésico do país, em que se baseia também o sistema UTM.

2.1 Planos Topográficos

A NBR 13133 (ABNT, 1994) define o Sistema de Projeção Topográfica como sinônimo de sistema topográfico local e que constitui uma superfície de projeção normal à vertical do lugar no ponto da superfície terrestre considerado como origem do levantamento. A NBR 14.166 (ABNT, 1998) complementa que plano topográfico local é o Plano topográfico elevado ao nível médio do terreno da área de abrangência do Sistema Topográfico Local. A Fig. 1 mostra as superfícies definidas por essas normas.

Nesse sistema topográfico Espartel (1965) e Silva e Segantine (2015) demonstram que a diferença entre distâncias medidas em um plano tangente e sobre a superfície curva da Terra é de 1mm em raio de 10km, portanto desprezível. Ao ser considerado um erro gráfico

de 0,1mm, o raio para a escala 1/1000 chega a cerca de 23 km e para escala 1/5000 cerca de 39 km. A extensão do plano topográfico pela NBR 13133 pode chegar a 80 km com erro relativo de 1/15000. Já para a representação altimétrica em levantamento topográfico o erro de esfericidade é muito significativo e chega em distância de 1 km a 7,8 cm e em 2 km a 31,4 cm. Porém como a altimetria é quase sempre obtida com visadas curtas em nivelamento geométrico, de forma independente do levantamento dos detalhes planimétricos, essa correção de esfericidade não é necessária.

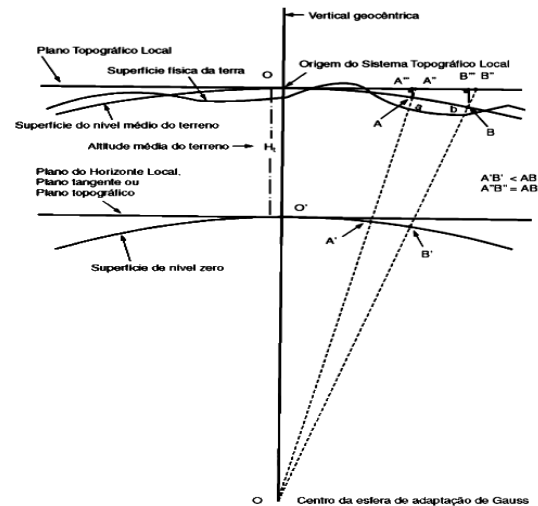


Figura 1. O plano topográfico local (na superfície da Terra) e plano topográfico tangente à superfície de nível zero.
Fonte: (ABNT, 1998)

Com os aperfeiçoamentos da tecnologia dos equipamentos topográficos, como as modernas estações totais, e os avanços de outros métodos de levantamentos da superfície da Terra, como o posicionamento com GNSS (*Global Navigation Satellite System*) passou a haver maior de integração de todos esses recursos (por exemplo, estações totais integradas com receptor GNSS) e também necessidade de transformações entre coordenadas topográficas e geodésicas e entre projeções topográficas e UTM. Apesar dessa realidade as normas de topografia em vigor no Brasil, a NBR 13.133- Execução de Levantamento Topográfico e a NBR 14.166- Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento são incompletas quanto às transformações entre coordenadas topográficas e UTM.

A NBR 13.133 define a projeção UTM, mas não apresenta detalhes sobre seu uso. Apenas em nota do item 3.40 sugere que ao utilizar um ponto com coordenada UTM este deve constar do Relatório Técnico e o item 5.3 cita que se o apoio topográfico se vincular ao SGB (Sistema Geodésico Brasileiro) devem ser usados pelo menos dois pontos com coordenadas UTM, que servem para definir o comprimento e azimute plano, seguindo-se no plano topográfico o cálculo do apoio topográfico. Este procedimento é adequado para ligar um ponto do apoio do levantamento ao SGB, e assim se localizar melhor a área em um mapa com coordenadas UTM, porém o transporte

de coordenadas em UTM correto exige cálculos mais detalhados como convergência meridiana, reduções angulares, correções de distância elipsoidal para topográfica e fatores de escala. O transporte de coordenadas rigoroso em UTM é detalhado em Morais (2004) e de forma similar para LTM em MIRA (2011).

A NBR 14.166 apresenta as fórmulas de transformação de coordenadas geodésicas (λ , ϕ , h) em coordenadas plano-retangulares no Sistema Topográfico Local, x , y , para fins de apoio ao cadastro de municípios. O sistema é definido a partir de pontos de um levantamento topográfico com origem em um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas (latitude, longitude, altitude). Essa norma não apresenta fórmulas para a transformação inversa e nem para transformações para coordenadas UTM.

Nenhuma das duas normas citadas alerta sobre a necessidade das devidas transformações entre as projeções tanto no levantamento como na locação de obras de engenharia, como por exemplo é feito em USARMY (2007).

2.2 Características gerais da projeção UTM

O sistema geodésico atual do Brasil é o SIRGAS 2000, mas existe muito material cartográfico antigo nos sistemas anteriores, como Córrego Alegre e SAD-69. Para compatibilização de dados de sistemas diferentes são necessárias as transformações podem ser feitas com o programa ProGrid disponível no site do IBGE.

Do ponto de vista prático, o WGS-84 e o SIRGAS2000 são considerados compatíveis. O SIRGAS 2000 é definido a partir de um elipsoide 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) = $1/298.257222101 = (a-b)/a$
 - $e^2 = 0,00669438000229$
 - $e'^2 = 0,00673949677548$

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 pelo DSG para o mapeamento sistemático do Brasil (ROCHA, 1998).

As principais características do sistema de projeção cartográfica UTM são:

- A superfície de projeção é um cilindro transversal 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 antimeridiano 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.

2.3 Uso do sistema UTM em grandes escalas

Várias entidades públicas de engenharia, federais, estaduais e municipais, definem seus projetos com base na projeção UTM como exemplos, ferrovias federais (BRASIL, 2015), o Projeto de Transposição do Rio São Francisco (MELLONI, 2011), rodovias no Estado de São Paulo (DER-SP, 2006), saneamento (CASAN, 2006) e prefeituras de cidades como Curitiba, Rio de Janeiro, São Paulo e Recife (ROCHA, 1994), obra para a Olimpíada de 2016 (RIOURBE, 2013).

A projeção UTM tem distorções que podem atingir erro relativo de quase 1/1000, como mostrado na seção 3, valor acima da menor tolerância de 1/5000 em projetos de engenharia. Devido a essas altas distorções o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) substituiu a definição de limites de propriedades rurais de UTM (INCRA, 2003) pelo uso de coordenadas geodésicas e sistema geodésico local (INCRA, 2013). Outra opção ao uso da UTM é a LTM (Projeção Local Transversal de Mercator) que tem deformações menores porque usa fusos com largura apenas de 1° e cilindro secante com $K_0 = 0,999995$, de modo que o erro relativo na latitude -33° (mais ao Sul do Brasil) é de 1/45662 (MIRA, 2011). A projeção LTM está sendo adotada pelo DINIT (DINIT, 2006) e pelo DEINFRA Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina (MIRA, 2011).

Uma superfície levantada por topografia ou métodos geodésicos para ser representada pela projeção UTM deve ter todas as coordenadas de seus pontos transformadas por vários modelos matemáticos, que apresentam níveis de aproximação diferentes e podem ser consultadas por exemplo, em Silva e Segantine (2015), Dal'forno et al (2010), Deakin (2008), Garnés (1998) e Richardus e Adler (1972).

A grade do sistema de coordenadas UTM é cartesiano e todos os cálculos nele seguem as regras da trigonometria plana. Mas os ângulos e distâncias devem ter seus equivalentes tanto na projeção quanto na superfície medida. Isto requer não apenas a redução de quantidade medidas sobre a superfície do elipsoide mas também a aplicação das correções do elipsoide para o plano, como salienta (BLACHUT et al, 1979). No caso de locações de obras cujas coordenadas estão em UTM, ou levantamento de alguma poligonal enquadrada com início e fim em coordenadas UTM, os procedimentos

necessários envolvem cálculos de correções de ângulos horizontais e direções (convergência meridiana e redução angular), redução de altitudes e fator de escala.

O método completo de transporte de coordenadas na projeção UTM é encontrado em Richardus & Adler (1972), Santos (1985) e Morais (2004).

Porém observa-se na prática que é muito comum ser usado o que se convencionou chamar aqui de "falso UTM". Neste procedimento o projeto é definido sobre um plano que tem apenas um ponto com coordenadas determinadas em UTM (obtida de alguma carta em grande escala ou de simples receptor GPS de mão), sem definição adequada do azimute. Em seguida todas as distâncias horizontais medidas na superfície do terreno são usadas para o transporte daquela coordenada inicial, sem as devidas correções das deformações UTM. Esta prática foi reproduzida por Camargo et al (1998) em análise de posicionamento GPS para apoio de poligonais topográficas, sendo que em três de quatro poligonais o erro de fechamento ficou muito acima da tolerância.

2.4 Fatores de Escala UTM Preciso e Aproximados e Redução de Altitude

A projeção UTM tem sido usada de forma geral para mapeamento em escalas grandes, como 1:1000 e 1:2000, e 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 projeto em UTM para o terreno ou do terreno para o projeto. As tolerâncias de erro relativo nas medições, segundo norma do IBGE (IBGE, 1983) em levantamentos para fins topográficos devem ser as seguintes:

- Controle e locação de obras de engenharia: 1/20.000.

- Levantamento de áreas de pequeno valor e pequenas obras: 1/5.000.

As transformações necessárias entre medidas do projeto em UTM e as medidas em campo devem ser feitas com o fator de escala K para a posição geodésica do ponto do projeto, que corresponde a uma distorção linear e é válida rigorosamente apenas naquele ponto. Existem fórmulas com vários níveis de precisão na literatura a partir de coordenadas geodésicas (latitude, longitude, h) como dada em LEICK (1995) ou coordenadas UTM como a seguinte (SANTOS, 1985):

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

Em que $K_0 = 0,9996$

E corresponde à coordenada este UTM do ponto.

N_1 raio de curvatura da seção primeiro vertical.

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

$n = e' \cos \phi$

$a =$ semi-eixo maior da elipse.

$e^2 =$ primeira excentricidade ao quadrado

$\Phi =$ latitude auxiliar

A Fig. 2 mostra a representação esquemática da variação da distorção na projeção. A partir do meridiano central existe uma faixa de redução das distâncias que aumenta de 0,9996 até 1,000 na linha de secância. A partir desta linha até a extremidade do fuso existe uma ampliação que chega quase ao valor de $K = 1,0010$ no Equador. Portanto a redução máxima chega a 0,4m/km no centro e ampliação máxima de 1,0m no bordo.

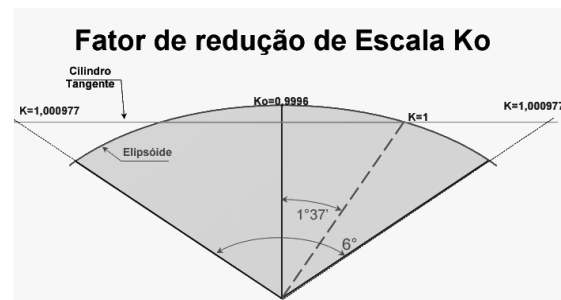


Figura 2 – Áreas de ampliação e redução dentro do fuso UTM, para o Equador. Fonte: EPUSP (2004)

A distorção calculada de forma precisa é dada pela Eq. 1 cujo cálculo em campo não é prático porque necessita da latitude do ponto. Porém para cálculos aproximados podem ser usadas fórmulas mais simples como a Eq. 3 e a Eq. 4 a seguir:

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

$$K = \frac{K_0}{\cos \left(\frac{Y}{Rm} \right)} \quad (4)$$

Em que: $K_0 = 0,9996$

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

$Rm = 3671$ km

A Eq. 3 e similares são encontradas em diversas referências como Richardus e Adler (1972), Kahmen e Faig (1988), Bomford (1962), ICSM(2002) e Deakin (2008). A Eq. 4 é encontrada em Nielsen (2007).

Segundo Moffitt e Bouchard (1992) para obter um fator de escala médio para uma linha deve-se obter os fatores para os extremos e para o meio e calcular a média ponderada:

$$Kl = \left(\frac{Ka + Km + Kb}{6} \right) \quad (5)$$

Em que:

Kl fator de escala para a redução da linha elipsoidal em distância plana;

Ka, Kb fatores de escala calculados para os pontos extremos do alinhamento A e B;

Km fator de escala no ponto médio entre os pontos extremos do alinhamento

A redução de altitude é a correção das medidas sobre o terreno para o nível dos mares ou superfície de

referência. 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. Neste caso a superfície de referência pode ser esférica, com o raio médio de 6378km, segundo a NBR 13133 ou o raio médio volumétrico de 6371km segundo o IUGG (*International Union of Geodesy and Geophysics*).

Na Fig. 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 zero, cuja relação com Sh é dada por:

$$S = Sh \cdot \frac{R}{R+h} \quad (6)$$

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

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

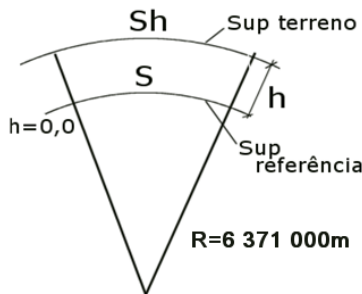


Figura 3 – Redução de altitude

O fator de redução de altitude só passa a ser significativo em altitudes a partir de algumas centenas de metros, como pode ser visto na Tab. 1.

Tabela 1. Fatores de redução e redução em m para uma medida de 1000m na superfície do terreno

H	Fa	Redução em m
0	1,0000000	0,000
200	0,9999686	0,031
400	0,9999372	0,063
600	0,9999058	0,094
800	0,9998744	0,126
1000	0,9998431	0,157

As fórmulas acima são apropriadas para medições no terreno (com altitude media Sh na Fig. 3) que devem ser compatibilizadas com dados de projeto na projeção UTM, ou seja, da topografia para UTM. Quando ocorre a operação contrária: são conhecidas as coordenadas de marcos ou vértices em UTM (que estão no nível zero por definição da projeção), a serem locadas ou medidas no terreno na altitude h, deve ser usado o fator de elevação Felev, que é o inverso da Eq. 7:

$$F_{elev} = \frac{R+h}{R} \quad (8)$$

As correções a serem efetuadas rigorosamente em trabalhos com coordenadas UTM são de reduções de ângulos e direções, redução de altitudes e fator de escala, mas na maioria dos casos da topografia envolvem apenas distâncias curtas e os ângulos esféricos podem ser considerados planos (MORAIS, 2004).

3. METODOLOGIA

Foram selecionados alguns exemplos para ilustrar posições geográficas em UTM 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 com fatores de escala precisos

O fator de escala UTM tem valor mais alto quanto mais próximo dos bordos. Como exemplos foram calculados os fatores de escala para três em cidades diferentes de Pernambuco, situadas nos fusos 24 e 25 (Fig. 4):



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

Fonte: Adaptado de www.google.com.br/maps/@-8.111707,-35.5381123,8z

- 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 dos fusos 24 e 25, 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 obtenção do fator de escala preciso foi usada a planilha redfearn.xls (www.icsm.gov.au/gda/redfearn.xls), com os parâmetros do elipsoide WGS-84 mas que fornece as mesmas coordenadas que o programa PROGRID do IBGE, que usa o SIRGAS-2000 (O PROGRID não fornece o fator de escala).

Na Tab.2 constam os pontos com suas coordenadas em UTM, as altitudes ortométricas, o fator de escala preciso e as diferenças calculadas para uma distância de 1.000m devido ao fator de escala no ponto. 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 1/5.780 e 1/1.061, 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 2. Fator de escala preciso e diferenças calculadas para uma distância de 1.000m

Ponto	UTM		FUSO
	E	N	
eps4	284742,576	9109481,118	25
Caruaru	170574,340	9081279,600	24
Garanhuns	777777,153	9107787,560	24

Ponto	Altitude(m)	Fe preciso	Dif. mm/1000m
eps4	5,000	1,0001734790	173,000
Caruaru	556,000	1,0009418110	942,000
Garanhuns	882,000	1,0005549890	554,000

3.2 Uso de fatores de escala aproximados

As distâncias dos bordos ao meridiano central variam com a latitude, sendo maiores no Equador, com isto os fatores de escala máximos vão diminuindo a medida que se aproximam dos pólos. Alguns bordos em latitudes que cobrem o Brasil são mostradas na Tab. 3 com as respectivas coordenadas UTM, as quais serão usadas em comparações de fatores de escalas.

Tabela 3 – 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 até algumas centenas de metros.

Reescrevendo a Eq. 3 para o fator de escala F1 com os parâmetros correspondentes:

$$F1 = 0,9996 \left(1 + \frac{(500000-E)^2}{2.R^2} \right) \quad (9)$$

Reescrevendo a Eq. 4 para o fator de escala F2 fica:

$$F2 = \frac{0,9996}{\cos \left(\frac{500000-E}{R} \right)} \quad (10)$$

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

A Tab. 4 mostra, para os mesmos pontos da Tab. 3, o fator de escala preciso (Fe preciso) e os fatores aproximados obtidos com as Eq. 9 (F1) e Eq. 10 (F2). Nas linhas seguintes estão as diferenças para uma distância de 1000 m entre o Fe preciso e os aproximados F1 e F2, em metro e em milímetro. Os valores obtidos com a Eq. 10 apresentam uma diferença menor, portanto mais aproximada da fórmula precisa, e pode ser facilmente utilizada com uma calculadora que tenha a função cosseno. A Eq. 9 pode ser usada com calculadoras mais simples.

Tabela 4 – Fatores de escala e diferenças em distâncias de 1000m.

Lat.	Fator de Escala		
	F preciso	F1	F2
0	1,000981	1,000973	1,000975
-10	1,000939	1,000932	1,000933
-20	1,000818	1,000813	1,000814
-30	1,000633	1,000631	1,000632

Lat.	Dif m/1000m		Dif mm/1000m	
	F1	F2	F1	F2
0	0,007594	0,006020	7,6	6,0
-10	0,006815	0,005333	6,8	5,3
-20	0,004760	0,003531	4,8	3,5
-30	0,002165	0,001277	2,2	1,3

Os dados da Tab. 4 mostram que as diferenças em medições de extensões de 1000m, ao usar as fórmulas aproximadas ao invés da precisa, são inferiores a 8mm, e assim menores que os erros acumulados de centragem do instrumento e prisma, pontaria, precisões das medições angulares e de distâncias de uma estação total.

3.3 Fator de escala e redução de altitude combinados

O fator de escala UTM combinado com o fator de correção de altitude pode ser introduzido 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 para efetuar os cálculos na sequência:

- Fa (Fator de altitude) = $R/(R+ALTIT)$

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

- 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:

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

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

$$DHg = DH \times Fq = DH \times Fa \times Fe \quad (12)$$

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

$$DH = DHg / Fq \quad (13)$$

A Tab. 5 mostra os resultados para os fatores de quadrícula para dos locais da Tabela 1, usando o fator de escala preciso e as reduções de altitude.

Tabela 5 – Efeito combinado do fator de escala com a correção de altitude em distâncias de 1000m

Ponto	Fe preciso	Altitude	Fa (altitude)
Eps4	1,00017354	5,000	0,9999992
Caruaru	1,00094180	556,000	0,9999127
Garanhuns	1,00055498	882,000	0,9998616

Ponto	Dif Fa (mm)	Fa x Fe preciso	Dif Fa x Fe (mm)
Eps4	-0,8	1,0001727	172,7
Caruaru	-87,3	1,0008545	854,5
Garanhuns	-138,4	1,0004165	416,5

A maior correção devido à altitude ocorre no ponto Garanhuns (-138,4 mm), seguido do ponto Caruaru com -87,3mm. Porém 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, em Recife, que está pouco acima do nível do mar.

Como alternativa aos procedimentos acima vale ainda lembrar que alguns *softwares* mais completos que estão sendo embutidos nas estações totais mais recentes para trabalhos 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 de apoio existente ou medidos com GNSS, em seguida a função calcula uma transformação afim, o que permite medir os demais pontos no sistema UTM.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O não uso de fator de escala, onde seja necessário compatibilizar distâncias topográficas com distâncias UTM, pode facilmente extrapolar as precisões para levantamentos e locações topográficos em projetos de engenharia, principalmente nos extremos de bordos. Nas áreas em posições entre os bordos, durante aplicações práticas, as diferenças entre as distâncias em UTM e as reais são muitas vezes consideradas como erros inerentes aos métodos topográficos, mas as medições de distâncias com MED embutido nas estações totais são muito precisas e não se comparam com as medições antigas com trenas.

Os valores de correções de altitudes e fórmulas para fatores de escalas aproximados apresentados podem ser calculados em campo facilmente com simples calculadoras de bolso. Para calcular os fatores de escala aproximados, em casos de locação, basta verificar a coordenada E do projeto que entra diretamente nas fórmulas, com mais o valor do raio médio da Terra.

Os fatores de correção de escala variam muito no sentido leste-oeste e pouco no norte-sul. Em casos de obras com grandes extensões é recomendado calcular fatores de escala para pontos nas extremidades e centro do projeto e tomar uma média ponderada. No caso de obras lineares como estradas, canais e oleodutos as correções podem ser feitas por sub trechos.

Recomenda-se ainda que é preciso conferir se o projeto realmente está em projeção UTM ou se apenas um ponto foi medido em sistema UTM e as demais coordenadas foram transportadas com as medidas reais do terreno. Neste caso a projeção UTM é classificada neste artigo como "falsa" e como as distâncias já são reais não necessitam de correções.

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 BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. *NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1994. 35 p.
- ABNT. *NBR 14166: Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998. 23 p.
- BLACHUT, T. J.; CHRZANOWSKI, A.; SAASTAMOINEN, J. H. *Urban Surveying and Mapping*. New York: Springer-Verlag. 372 p. 1979.
- 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.
- BRASIL. *Pregão, na Forma Eletrônica, Nº 0321/2015-00 – DNIT Processo Nº 50600.037858/2014-42 Edital*. República Federativa do Brasil, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. 2015.
- CAMARGO, P. O; MONICO, J. F. G; ISHIKAWA, M. I; ITAME, O. Y. Posicionamento GPS para Apoio de Poligonais Topográficas: Análise do Erro de Fechamento. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário (COBRAC 98). UFSC, Florianópolis-PE. CD-ROM. 1998.
- CASAN. *Manual para Execução de Serviços Topográficos. 3ª edição*. 2006. Florianópolis: Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. 51 p. 2006.
- 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.
- DAL'FORNO, G. L.; AGUIRRE, A. J; HILLEBRAND, F. L; GREGORIO, F. V. Transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas no plano topográfico local pelos métodos da norma NBR 14166:1998 e o de rotações e translações. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. CD-ROM. 2010.
- 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.
- EPUSP. Apostila PTR 5003 – Sistema de Projeção UTM. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: LTG/PTR/EPUSP, 2004. Disponível em: http://leg.ufpr.br/lib/xe/fetch.php/disciplinas:verao2007:pdf:sistema_utm.pdf. Acesso em 20/02/2016.
- GARNÉS, S. J. A. Sistema de Projeção e Orientação das Plantas Topográficas. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário (COBRAC 98). UFSC, Florianópolis-PE. CD-ROM. 1998.
- GARNÉS, S.J.A., SIQUEIRA, V.P.; CACHO, J.P. Definição para implantação do sistema topográfico local de Campo Grande-MS e análise das fórmulas da NBR-14.166. In: Anais do IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, (CBCG 2005). CD-ROM, 2005, Curitiba-PR, 2005
- 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>
- INCRA. *Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 1ª edição*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. 42 p. 2003.
- INCRA. *Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 3ª edição*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. 4 p. 2013.
- KAHMEN H., FAIG, W. *Surveying*. Berlin: de Gruyter. 578 p. 1988.
- MAIA, T. C. B. *Estudo e Análise de Poligonais Segundo a NBR 13.133 e o Sistema de Posicionamento Global*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 1999
- MELLONI, EDUARDO. Engenheiro da Logos-Concremat Gerenciamento do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Comunicação Pessoal 04/04/2011.
- MIRA. Sistema de Coordenadas Planas LTM Aplicado em Projetos Rodoviários. *A Mira*. Criciúma: Editora e Livraria Luana Ltda. v. XXI, n. 159. 2011.
- MOFFIT, F.H., BOUCHARD. H. *Surveying 9th edition*. New York: Haper & Row. 876 p. 1992.

MORAIS, R. V. *Estudo de Projeções Geodésicas no Cadastro Técnico Urbano Análise de Fechamento de Poligonais*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de SC. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. 101 p. 2004.

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.

RICHARDUS, P.; ADLER R.K. *Map projections for geodesists, cartographers and geographers*. Amsterdam, Netherlands, North Holland Publishing Company, 1972. 174 p.

RIOURBE. *Parque olímpico Barra da Tijuca, Memorial*. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro: Empresa Municipal de Urbanização – RIOURBE. 85 p. 2013. Disponível em: <http://www.apo.gov.br/wp-content/downloads/instalacoes/MEMORIALTENISRIOURBE-ultimo12-07-13.pdf>. Acesso em 15/01/2016.

ROCHA, R. S. *Proposta de Definição de uma Projeção Cartográfica para Mapeamento Sistemático em Grandes Escalas para o Estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. 70 p. 1994.

SILVA, I. *Curso de Geomática – Aula UTM*. USP-Escola de Engenharia de São Carlos. 2012. Disponível em http://pt.slideshare.net/JamessonCavalcanteSampaio/aula-utm-irineu2012?next_slideshow=1 Acesso 10/01/2016.

SOUZA, W. O. S; GARNÉS, S. J. A. Análises de Projeções Cartográficas para Grandes Escalas. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. CD. 2012.

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).